



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLŠKI FAKULTET

Nika Šimenc

UČINAK SREDSTVA ZA IZBJELJIVANJE NA FIZIKALNA I ESTETSKA SVOJSTVA RESTAURATIVNIH MATERIJALA

Diplomski rad

Zagreb, lipanj 2017.

Rad je ostvaren na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u i Laboratoriju za femtosekundnu lasersku spektroskopiju Instituta za Fiziku u Zagrebu.

Mentor rada: doc. dr. sc. Eva Klarić Sever

Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju

Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Teodora Ćuk

Prof. hrvatskog jezika i književnosti

Lektor engleskog jezika: Martina Koščec Perić

Prof. engleskog i francuskog jezika i književnosti

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. Doc.dr.sc. Eva Klarić-Sever

2. Doc.dr.sc. Domagoj Vražić

3. Izv. Prof. dr.sc. Dubravka Negovetić-Vranić

Datum obrane: 29.06.2017.

Rad sadrži: 44 stranica

4 tablice

18 slika

1 CD

Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

Zahvala

Ovaj rad željela bih posvetiti svojim roditeljima kao zahvalu za njihovu neizmjernu vjeru u moj uspjeh.

Zahvaljujem svojoj mentorici doc.dr.sc. Evi Klarić - Sever koja me je od samog početka stručno i savjesno vodila kroz cijeli ovaj rad, te svojim ogromnim iskustvom i znanjem usmjeravala kroz sve segmente rada, kako u praktičnom tako i u teoretskom djelu.

Hvala dr.sc. Mariju Rakiću i dr.sc. Hrvoju Skenderoviću, s Instituta za fiziku, Zagreb na suradnji u eksperimentalnom dijelu istraživanja i Ivanu Severu, s Instituta za turizam, Zagreb na statističkoj obradi podataka. Također zahvaljujem i prof.dr.sc. Zrinki Tarle na pomoći oko nabave materijala i planiranju istraživanja.

Veliko hvala mojoj obitelji i Filipu na bezuvjetnom strpljenju i razumijevanju tijekom studija.

Učinak sredstva za izbjeljivanje na fizikalna i estetska svojstva restaurativnih materijala

Sažetak

Svrha istraživanja bila je dokazati učinak sredstva za izbjeljivanje na promjenu mikrotvrdoće, te boje i transmisije triju različitih restaurativnih materijala te dokazati utječe li izbjeljivanje na pojačano naknadno obojenje takvih materijala. Promjene boje, transmisije i mikrotvrdoće mjerene su neposredno prije izbjeljivanja, nakon izbjeljivanja, te nakon držanja u destiliranoj vodi ili otopini čaja. Uzorci koji su izbjeljivani te neizbjeljeni uzorci koju su držani u vodi za vrijeme trajanja izbjeljivanja (kontrola) nisu pokazali veći koeficijent apsorpcije tj. nisu bolje propuštali svjetlost u odnosu na uzorke mjerene nakon polimerizacije tj. prije izbjeljivanja. Sredstva za izbjeljivanje mogu ujecati na promjenu mikrotvrdoće, boje i transmisije svjetlosti kod kompozitnih materijala i staklenoionomernih cemenata. Izbjeljeni restaurativni materijali podložni su jačoj promjeni boje nakon aplikacije sredstva za izbjeljivanje na njihovu površinu u odnosu na neizbjeljene i to kao posljedica omekšanja i povećanja površinske hrapavosti i smanjenja njihove mikrotvrdoće. Kada se odlučimo za postupak izbjeljivanja kod kuće s nižim koncentracijama sredstava za izbjeljivanja ili onome pod kontrolom stomatologa i korištenju visokih koncentracija aktivnih sredstava, potrebno je obavijestiti pacijenta o mogućnosti učinka sredstva za izbjeljivanje na promjenu boje restaurativnih materijala, pojavu pukotine kao i na površinsko omekšanje i povećanje hrapavosti te je takve ispune nakon zahvata ponekad potrebo zamijeniti.

Ključne riječi: sredstvo za izbjeljivanje, kompozitni materijali, staklenoionomerni cementi, promjena boje, transmisija svjetlosti, mikrotvrdoća

Effects of bleaching agents on physical and aesthetic properties of restorative materials

Summary

The aim of the present study was to investigate the effect of bleaching agents on microhardness, colour change and light transmission of three different restorative materials and to demonstrate whether bleaching can subsequently increase the coloration of such materials. Bleaching can affect the change in microhardness, colour and light transmission of composite materials and glass-ionomer cements. Bleached restorative materials are subject to stronger colour change after the application of bleaching agents on their surface compared to unbleached materials, as a result of softening and increased surface roughness and decrease in their microhardness. When we decide to use whitening procedure at home, with lower concentrations of bleaching agents or the one controlled by the dentist, with the use of high concentrations of active agents, it is necessary to inform the patient about the possibility of the effect of bleaching agents on colour change of restorative materials, possible crack appearance. As well as of softening and increased roughness on the surface. And such filling should sometimes be replaced after the bleaching treatment.

Keywords: Bleaching agents, composite material, glass-ionomer cement, color change, light transmission, microhardness

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Izbjeljivanje zubi i restaurativnih materijala	1
1.2. Aktivni sastojci (sredstva) za izbjeljivanje zubi	3
1.3. Boja organskih spojeva.....	4
1.4. Optička svojstva restaurativnih materijala	5
2. SVRHA ISTRAŽIVANJA I RADNE HIPOTEZE.....	8
3. MATERIJALI I POSTUPCI.....	9
3.1. Sredstva za izbjeljivanje	9
3.2. Restaurativni materijali.....	9
3.2.1. Equia.....	9
3.2.2. Tetric evo ceram.....	10
3.2.3. Tetric evo ceram bulk fill	11
3.3. Sredstvo za bojanje	12
3.4. Priprema uzoraka.....	13
3.5. Postupci	15
3.5.1. Izbjeljivanje restaurativnih materijala	15
3.5.2. Mjerenje mikrotvrdoće	15
3.5.3. Mjerenje promjene boje	17
3.5.4. Mjerenje transmisije	18
3.6. Statističke metode.....	20
4. REZULTATI.....	21
4.1. Mikrotvrdoća	21
4.2. Promjena boje	22
4.3. Transmisija	26
5. RASPRAVA	30
6. ZAKLJUČCI.....	36
7. LITERATURA	37
8. ŽIVOTOPIS	45

Popis skraćenica

TECBF-tetric evo ceram bulk fill

TEC- tetric evo ceram

EQUIA- easy quick uniqueintelligent aesthetic

Bis-GMA -bisfonol-A-glicidmetakrilat

Bis-EMA -etoksilirana bisfenol-A- dimetakrilat

PPF- prepolimerizirane čestice punila

UDMA -retandimetakrilat

TEGDMA -trietilen glikol dimetakrilat

YbF3- Iterbijtriflorid

1. UVOD

1.1. Izbjeljivanje zubi i restaurativnih materijala

Svrha istraživanja bila je dokazati učinak sredstva za izbjeljivanje na promjenu mikrotvrdoće te boje i transmisije triju različitih restaurativnih materijala te dokazati utječe li izbjeljivanje na pojačano naknadno obojenje takvih materijala.

U posljednjih desetak godina pacijenti i doktori dentalne medicine pokazuju sve veće zanimanje za izbjeljivanje zubi, tj. postupak kojim se posvjetljuje boja zubi. Većina ljudi danas teži lijepom i prirodnom osmijehu, čija su glavna karakteristika zdravi i bijeli zubi. To je dovelo do pojave različitih materijala na tržištu, pogotovo materijala za jednostavnije i učinkovitije izbjeljivanje. Posljednja istraživanja pokazuju da su postupci izbjeljivanja vitalnih i nevitalnih zubi vrlo uspješni ako se provode u kontroliranim uvjetima (1,2). Postupci izbjeljivanja zubi pokazali su se sigurnima po pitanju tvrdih zubnih tkiva i do sada nisu zabilježene makroskopske i klinički vidljive promjene ili oštećenja istih (3), no mnoge studije zabilježile su mikroskopska oštećenja tvrdih zubnih tkiva uzrokovana korištenjem visoko koncentriranih preparata vodikovog peroksida (4). Tako su opisane promjene u histologiji i kemijskom sastavu izbijeljene cakline (5-10) kao i mikroskopski vidljive površinske promjene i smanjenje mikrotvrdoće (11-14). Zaključno, takve promjene ipak su minimalne i nisu klinički značajne ukoliko se preparati za izbjeljivanje koriste u kontroliranim kliničkim uvjetima (12,13). Osim utjecaja na tvrda zubna tkiva, postoji zanimanje i potencijalna zabrinutost na učinak sredstva za izbjeljivanje na fizička, mehanička i kemijska svojstva restaurativnih materijala (15). Kod amalgamskih ispuna zabilježeno je povećano otpuštanje žive iz dentalnih amalgama izloženih djelovanju karbamid peroksida kroz dulje vrijeme. Količina otpuštene žive varira ovisno o vrsti amalgama i sredstva za izbjeljivanje. Keramika i ostale keramičke restoracije kao i zlato, generalno ne pokazuju nikakve promjene nastale za vrijeme izbjeljivanja (16). Sastavni dijelovi kompozitnih materijala, kao što su monomeri odnosno kiseline u sastavu staklenoionomernih cemenata, podložni su utjecaju sredstva za izbjeljivanje tj. njihovih aktivnih komponenata, pa su tako zabilježene promjene u fizičkomehaničkim svojstvima, kao i estetskim svojstvima nakon postupka izbjeljivanja zubi preparatima vodikovog peroksida ili karbamid peroksida. Zbog prisutnosti organske smole u svome sastavu, kompozitni materijali pokazali su veće promjene u svom kemijskom sastavu nakon izbjeljivanja, nego keramika ili metal (17). Osim promjena u kemijskom sastavu i

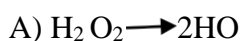
mehaničkim svojstvima, vodikov peroksid može dovesti i do promjena boje restaurativnih materijala (18) dok neki istraživači tvrde da te promjene nisu značajne (19).

Idealni kompozitni materijal trebao bi ostati nepromijenjen nakon postupka izbjeljivanja zubi no, unatoč tome, zabilježeni su kontroverzni podatci o učincima na mikrotvrdoću i boju kompozitnih materijala (20). Prethodna istraživanja pokazuju značajan porast u povećanju površinske hrapavosti i poroznosti kompozitnih materijala predlažući promjenu ispuna ili poliranje površine nakon postupka izbjeljivanja (21,22) dok druga istraživanja ne pokazuju takve promjene na površini ili u samoj mikrotvrdoći restaurativnih kompozitnih materijala (22-24). Vezano uz promjenu boje, zabilježeno je da vodikov peroksid pridonosi pojačanom posvjetljivanju boje kompozitnih materijala u odnosu na karbamid peroksid iste koncentracije (25), a također je poznato da su nanopunjeni kompozitni materijali podložniji promjeni boje od mikrohibridnih kompozita, no postupkom izbjeljivanja se te promjene mogu vratiti u početno stanje (26). Promjene površinske mikrotvrdoće restaurativnih materijala ovise o vremenu primjene sredstva za izbjeljivanje kao i o samoj vrsti i svojstvima materijala (17). Istraživanja SEM mikroskopijom pokazala su da primjena 10-16 % karbamid peroksida na površinu kompozita može dovesti do blagog, ali statistički značajnog povećanja površinske hrapavosti i povećanja poroznosti mikropunjenjih i hibridnih kompozitnih materijala (28, 29). Također su zabilježena oštećenja i puknuća na površini kompozitnih materijala nakon primjene 10 % karbamidnog peroksida tijekom perioda od četiri tjedna (30). Prema nekim istraživanjima sredstva s niskim koncentracijama karbamid peroksida za izbjeljivanje kod kuće dovode do površinskih promjena (28) dok druga pokazuju da je njihova primjena u potpunosti sigurna i ne dovodi ni do kakvih značajnih oštećenja i smanjenja mikrotvrdoće (17) ili dovodi do porasta površinske mikrotvrdoće (31). Naprotiv, visoko koncentrirani preparati vodikovog peroksida mogu dovesti do smanjenja površinske i podpovršinske mikrotvrdoće (32), a takve promjene povezuju se s oksidacijskom reakcijom koja nastaje kao posljedica izbjeljivanja i dovodi do degradacije organske matrice unutar kompozita (33). Za standardizirano i pouzdano određivanje boje restaurativnih materijala koriste se spektrofotometri ili kolorimetri pri čemu se određuju $L^*a^*b^*$ vrijednosti prema CIELAB sustavu. U kliničkim uvjetima oku vidljiva promjena boje, ΔE^* , mora biti veća od 3 (34). Primjene 10-30% vodikovog peroksida dovodi do značajnih promjena u boji kompozitnih materijala ΔE 2-11 (26), dok prilikom korištenja preparata karbamid peroksida nižih koncentracija nisu zabilježene promjene (35), odnosno značajne i klinički vidljive promjene boje ipak mogu biti vidljive kod nanohibridnih kompozitnih materijala prilikom

spektrometrijskih mjerenja, a uslijed korištenja 15 % karbamidnog peroksida (36). Visoke koncentracije vodikovog peroksida dovode do značajnih promjena u boji restaurativnih materijala pogotovo ako se koriste niskoviskozni mikropunjeni kompozitni materijali, a te promjene pripisuju se volumenu organske matrice i tipu anorganskog punila (37). Zaključno, promjene boje i transmisije svjetlosti restaurativnih materijala nakon izbjeljivanja pripisuju se oksidaciji površinskih pigmenata i amina, koji su također odgovorni za promjenu boje kompozita, kao posljedice starenja ili razlici u količini organske matrice i stupnju konverzije. Zbog toga je veća promjena boje zabilježena kod kemijski polimerizirajućih kompozita, nego svjetlosno polimerizirajućih kompozita, a razlika je upravo temeljena na sastavu i stabilnosti organske matrice i aktivacijskog sistema (38). Što se tiče staklenoinomernih cemenata, oni također podliježu promjenama fizikalnih, mehaničkih i estetskih svojstava. Najčešće su tako zabilježene promjene boje ispuna nakon izbjeljivanja (36), ali i omekšanje površine ispuna i povećanje površinske hrapavosti uz stvaranje fisura i jamica na površini (33). Jedna od mogućih pogrešaka je i izrada kompozitnog ispuna neposredno nakon provedenog postupka izbjeljivanja. Ono reverzibilno slabi vezu adhezijskog sustava za dentin i caklinu. Uzrok te slabije veze je rezidualni kisik koji inhibira polimerizaciju kompozita. Zbog toga bi s izradom ispuna trebalo pričekati do 2 tjedna. Topikalnom primjenom fluorida, primjenom adhezijskih sustava na bazi acetona ili alkohola ili uklanjanjem površinskog sloja cakline možemo poništiti taj učinak inhibicije te odmah izraditi ispun (39).

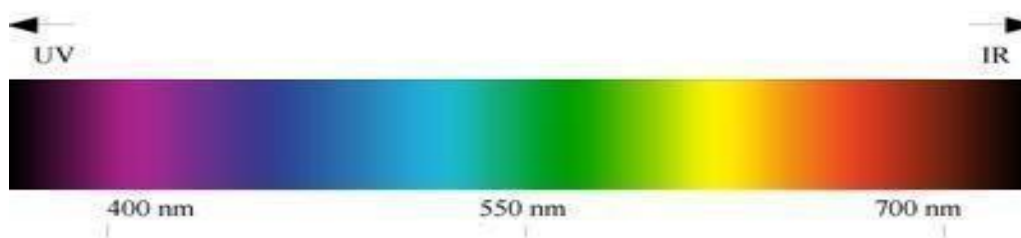
1.2. Aktivni sastojci (sredstva) za izbjeljivanje zubi

Aktivne sastojke svakog sredstva za izbjeljivanje čine spojevi s peroksidnom skupinom (-O-O) takozvani peroksidi. Najčešće korišteni peroksid za izbjeljivanje zubi je vrlo reaktivni vodikov peroksid (H_2O_2), a osim njega koriste se još i karbamid peroksid, natrijev perborat i njihove kombinacije. Najpopularnije sredstvo za izbjeljivanje je 30 – 35% vodik peroksid ili 10– 16% karbamid peroksid (koji razgradnjom daje vodik peroksid manjeg postotka nego početni spoj i ureu koja daje amonijak i ugljični dioksid) (40). Spojevi peroksida počinju se raspadati nakon nanošenja na površinu zuba.



1.3. Boja organskih spojeva

Za boju organskih spojeva odgovorna je apsorpcija svjetlosti vidljivog dijela spektra od 380 do 750 nanometara (nm). Apsorpcija (lat. absorptio = apsorpcija) je upijanje različitih vrsta zračenja. Neka tijela apsorbiraju samo određene frekvencije elektromagnetnog zračenja. Svjetlost nosi energiju koju predmeti apsorbiraju. Boja koju vidimo nije u predmetima nego u svjetlosti pomoću koje ih vidimo. Ljudsko oko reagira samo na vrlo ograničeni raspon valnih duljina, na vidljivu svjetlost. Međutim, ono odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Te male razlike nazivamo boje. Boje su dakle male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, a najdulju crvena svjetlost. Spektar vidljivog zračenja čine: ljubičasta boja (najveća frekvencija, najkraća valna duljina) plava boja, zelena boja, žuta i narančasta boja, crvena boja (najniža frekvencija, najdulja valna duljina). Bijela svjetlost sastavljena je od kontinuiranog niza svih boja vidljivog spektra. Pod bojom nekog tijela možemo smatrati boju koju tijelo reflektira kada je osvijetljeno bijelom svjetlošću, tj. tijelo će biti obojeno nekom bojom ako mu površina apsorbira bijelu svjetlost samo na određenom valnom području. Boja ovisi o frekvenciji reflektiranog zračenja (Slika 1.). Bijela površina je ona koja u jednakoj mjeri reflektira sva valna područja bijele svjetlosti. Crna površina je ona koja u potpunosti apsorbira bijelu svjetlost. Siva površina u jednakoj mjeri reflektira sva valna područja bijele svjetlosti, ali ih i djelomično apsorbira. Bijela, crna i siva su akromatske boje, a sve ostale boje su kromatske (41).

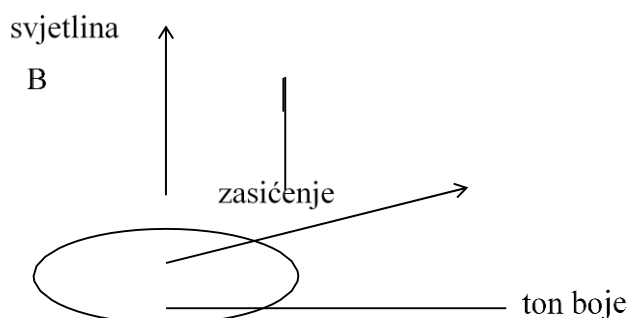


Slika 1. Spektar boja i pripadajuće valne duljine. Preuzeto s dopuštenjem izdavača: (42.)

1.4. Optička svojstva restaurativnih materijala

Fenomen boje psihofizički je odgovor na fizičku interakciju svjetlosne energije s objektom, a subjektivni je doživljaj pojedinca, tj. promatrača (43). Faktori koji mogu utjecati na percepciju boje su prvenstveno izvori svjetlosti, koji mogu emitirati energiju zračenja u rasponu određenih valnih duljina, koje karakterizira relativna količina energije emitirana na valnoj duljini u vidljivom spektru. Izvor svjetla koji svijetli (iluminira) utječe na percepciju boja, dok spektralna refleksija (prozirnost, transparentija) objekta karakterizira boju objekta. Na primjer, crveni predmet izgleda crveno ponajprije zato što reflektira svjetlost crvene valne duljine više od zelene i plave. Konačno, promatračev vizualni sustav oka i mozga na kraju utječu na ukupnu percepciju boje (44).

Boja se može opisati prema Munsellovom sistemu ili "prostoru" boja sa: hue (boja) value (svjetloća) i chroma (čistoća) boje (Slike2,Slika3). Hue je osnova boje koja omogućuje čovjeku razlikovanje različitih osnova boja npr. crvene, plave i zelene boje. Value ili vrijednost određuje svjetloću boje u rasponu od čiste crne do bijele, a chroma je stupanj zasićenja i opisuje snagu, intenzitet ili "živost" boje (45).



Slika 2. Cilindrični koordinatni sustav boja. Preuzeto s dopuštenjem izdavača: (43).

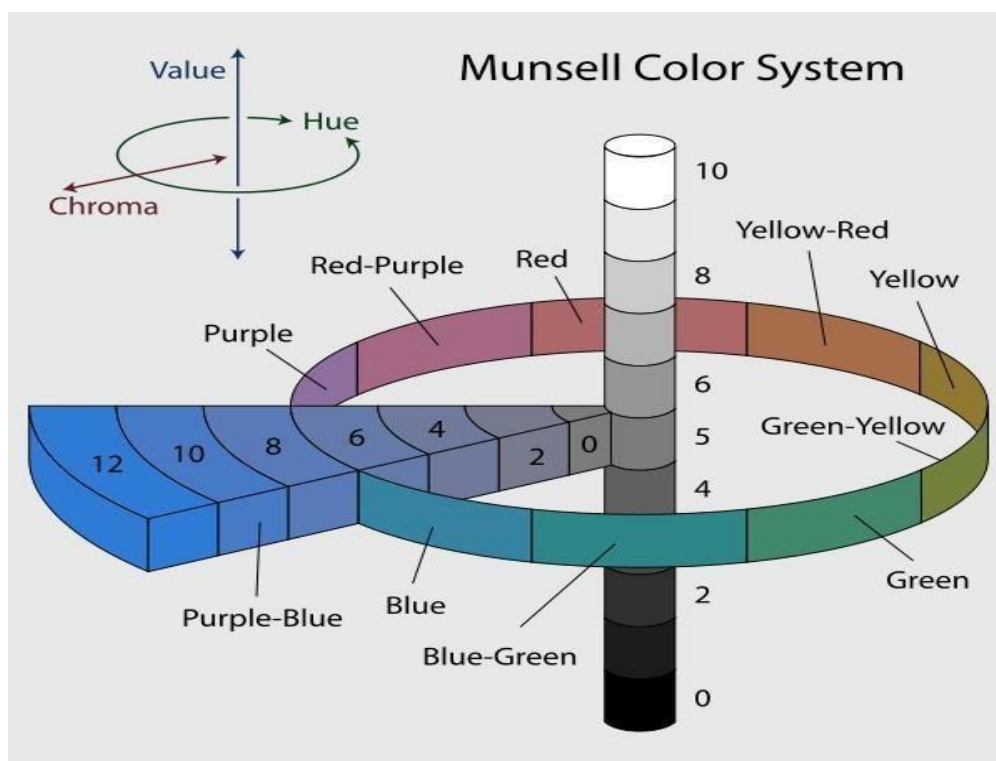
Internationale de l'Eclairage (CIE), organizacija posvećena standardizaciji u područjima kao što su boja i izgled, definirala je 1931. godine standardni izvor svjetla, koji uz standardiziranog promatrača omogućuje izračun vrijednosti boje tj. način na koji reagira ljudsko oko na zadanu boju. Godine 1976. CIE usvaja CIE Lab sistem, koji se bazira na teoriji

percepcije temeljenoj na postojanju triju receptora za boje u ljudskome oku (crvena, zelena i plava). Ovaj "trodimenzionalni prostor" formiraju tri osi: L^* , a^* , b^* .

U tom prostoru L^* označava svjetlinu i počinje od 0 (crno) do 100 (bijelo), a smješten je na y- osi koordinatnog sustava. Vrijednosti a^* (x-os) i b^* (z-os) su koordinate kromatičnosti + a^* je smjer crvene, a - a^* je smjer zelene, + b^* je smjer žute, a - b^* je smjer plave. Centar je bezbojan: kada se a^* i b^* vrijednost povećaju i točka se kreće iz centra, kromatičnost boje se povećava. L^*a^* i b^* vrijednosti kvantitativne su mjere i zato se mogu izračunati brojčane razlike između dviju točaka boje. Ekvilibrijska udaljenost između njih procjenjuje se kao Delta E i može se izračunati formulom:

$$\Delta E_{ab}=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (46).$$

L^*C^*h prostor boja koristi isti dijagram kao L^*a^*b sustav, ali koristi cilindrične koordinate umjesto pravokutnih. U ovom prostoru boja L^* (luminance, value) označava svjetlinu od bijelog ($L=100$) do crnog ($L=0$) i isti je kao L^* u L^*a^*b prostoru boja. C^* (chroma) je zasićenost ili intenzitet, a predstavlja razliku između boje i sivog tona iste svjetline, mjereno kao odstupanje od neutralne osi. Vrijednost h (hue) je nijansa ili ton (kut) tj. ono što obično nazivamo bojom (crvena, žuta, zelena, plava). Vrijednosti boje C^* je 0 u sredini i povećava se prema udaljenosti od centra. Kut tona je definiran početno na + a^* (crveno), 90 stupnjeva bi bila + b^* (žuta), 180 stupnjeva bi bila - a^* (zelena), 270 stupnjeva bi bila b^* (plava) (44).



Slika 3. Munsellov sustav boja. Preuzeto s dopuštenjem izdavača: (46).

Konačno, boja restaurativnog materijala određena je kombinacijom njegovih optičkih svojstava te su četiri pojave povezane s interakcijom svjetlosti i površine materijala: transmisija svjetlosti, refleksija i difuzna refleksija, apsorpcija i rasap svjetlosti (47).

2. SVRHA ISTRAŽIVANJA I RADNE HIPOTEZE

Svrha ovog istraživanja je ispitati učinak sredstva za izbjeljivanje na boju, transmisiju i mikrotvrdoću tri restaurativna materijala- konvencionalni viskoviskozni kompozitni materijal, bulk fill kompozitni materijal i staklenoionomerni cement.

Hipoteze istraživanja su sljedeće:

1. Postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena površinske mikrotvrdoće restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja.
2. Postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena boje restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja.
3. Postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena u propusnosti svjetlosti (transmisiji) restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja.

3. MATERIJALI I POSTUPCI

3.1. Sredstva za izbjeljivanje

U istraživanju se koristilo komercijalno sredstvo za izbjeljivanje zubi temeljeno na vodikovom peroksidu OPALESENCE BOOST (Ultradent, South Jordan, SAD). Ovaj preprat koristi se za izbjeljivanje u ordinaciji i sadrži propilen glikol, vodikov peroksid (40%), 1,1% fluorid i 3% kalijev nitrat (Slika4.).



Slika 4. OPALEASENCE BOOST (Ultradent, South Jordan, SAD)

3.2. Restaurativni materijali

3.2.1. Equia

Equia (u daljnjem tekstu EQUIA) spada u skupinu viskoviskoznih staklenoionomernih cemenata. Naziv ovog materijala je kratica za “easy-quick-uniqueintelligent-aesthetic” te se smatra dugoročnim restorativnim materijalom. To je materijal koji nakon stvrdnjavanja zahtjeva tretman nanopunjenim viskosjajnim premazom (Equia Coat). Equia je, na neki način, alternativa amalgama i kompozita. Neke od prednosti ovog materijala su: jednostavno postavljanje u komadu bez jetkanja ili korištenja adhezivnih sustava, niska osjetljivost na vlagu te otpornost na trošenje te iznimna biokompatibilnost. Equia izrazito dobro otpušta fluoride te time pruža potrebnu zaštitu od nastanka sekundarnog karijesa.

Ovaj material dostupan je u različitim kombinacijama pakiranja koja se sastoje od bočice od 4 ml Equia Coat i kapsula Equia Fil u bojama: A1, A2, A3, A3.5, B1, B2, B3 i C4 (Slika5.).



Slika 5. Equia (GC, Japan) staklenoionomerni cement

3.2.2. Tetric evo ceram

Tetric Evo Ceram (u daljnjem tekstu TEC) je nanohibridni, viskoviskozni kompozit s klasičnom dimetakrilatno monomernom matricom i anorganskim punilom (79-81%). Posjeduje fotoinicijator kamforkinon te je predviđen za postavljanje u slojevima debljine do 2 mm. Na tržište dolazi u sljedećim bojama: A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D2, D3. Te dentinske boje A2, A3.5, A4, B2 (Slika6.).



Slika 6. Tetric Evo Ceram kompozitni materijal

3.2.3. Tetric evo ceram bulk fill

Tetric Evo Ceram Bulk Fill (u daljnjem tekstu TECBF) je nanohibridni kompozit i omogućuje vrlo jednostavno rukovanje u smislu, jedan ispun, jedan material jedan sloj. Naime, oni u svom sastavu sadrže inhibitor, koji smanjuje osjetljivost na svjetlo iz okoline, što nam omogućuje duže vrijeme rukovanja, a ne utječe na polimerizaciju intenzivnim plavim svjetlom. Nadalje, zahvaljujući patentiranom fotoinicijatoru (Polymerization booster), koji djeluje kao generator polimerizacije, omogućena je brza polimerizacija koja doseže dubinu do 4 mm. Tetric EvoCeram Bulk Fill dostupan je u tri univerzalne caklinske boje IVA, IVB i IVW (univerzalna A boja, univerzalna B boja i boja W za mliječne zube ili svijetle trajne zube). Tetric EvoCeram Bulk Fill posjeduje dodatni activator Ivocerin koji je baziran na germaniju i posjeduje apsorpcijski spektar vrlo blizu onome kamforkinona. Također je potvrđeno da Ivocerin posjeduje i veću aktivnost fotopolimerizacije u odnosu na kamforkinon zbog veće apsorpcije vidljivog svjetla (47) (Slika7.).



Slika 7. Tetric Evo Ceram Bulk Fill kompozitni material

Tablica 1. Podaci proizvođača o restaurativnim materijalima korištenim u istraživanju.

Materijal	Proizvođač	Nijansa/LOT	Vrsta smole	Sastav	Preporučena debljina sloja prema proizvođaču	Preporučena duljina polimerizacije prema proizvođaču
Tetric EvoCeram (TEC)	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	A2/P80726	Bis-GMA, Bis-EMA,	76/55 (wt%/vol%) barijevo staklo, YbF ₃ , mješani oksid, PPF (0.04–3 µm)	2 mm	≥1,000 mW/cm ² /10 s; ≥500 mW/cm ² /20 s
Tetric EvoCeram Bulk Fill (TECBF)	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	IVA/R04686	Bis-GMA, Bis-EMA,	81/61 (wt%/vol%) barijevo staklo, YbF ₃ , mješani oksid, PPF (0.04–3 µm)	4 mm	≥1,000 mW/cm ² /10 s; ≥500 mW/cm ² /20 s
Equia	GC, Japan	A2/1405211	-	Poliakrilna kiselina, alumosilikatno staklo, destilirana voda	4 mm	-

3.3. Sredstvo za bojanje

Uzorci restaurativnih materijala obojani su otopinom zelenog čaja (Zeleni čaj Franck, Hrvatska) koja je pripremljena tako da su 2 g čaja ostavljena u 1 dl tople vode 5 min. Nakon toga otopina je u potpunosti ohlađena i prelivena preko uzoraka. Uzorci su se zatim držali u otopini čaja tijekom 3 sata dnevno u vremenskom period od 14 dana na sobnoj temperaturi, a ostatak vremena bili su u destiliranoj vodi, na relativnoj vlažnosti i temperaturi od 37 °C (Cultura Incubator, Ivoclar Vivadent. Liechtenstein).

3.4. Priprema uzoraka

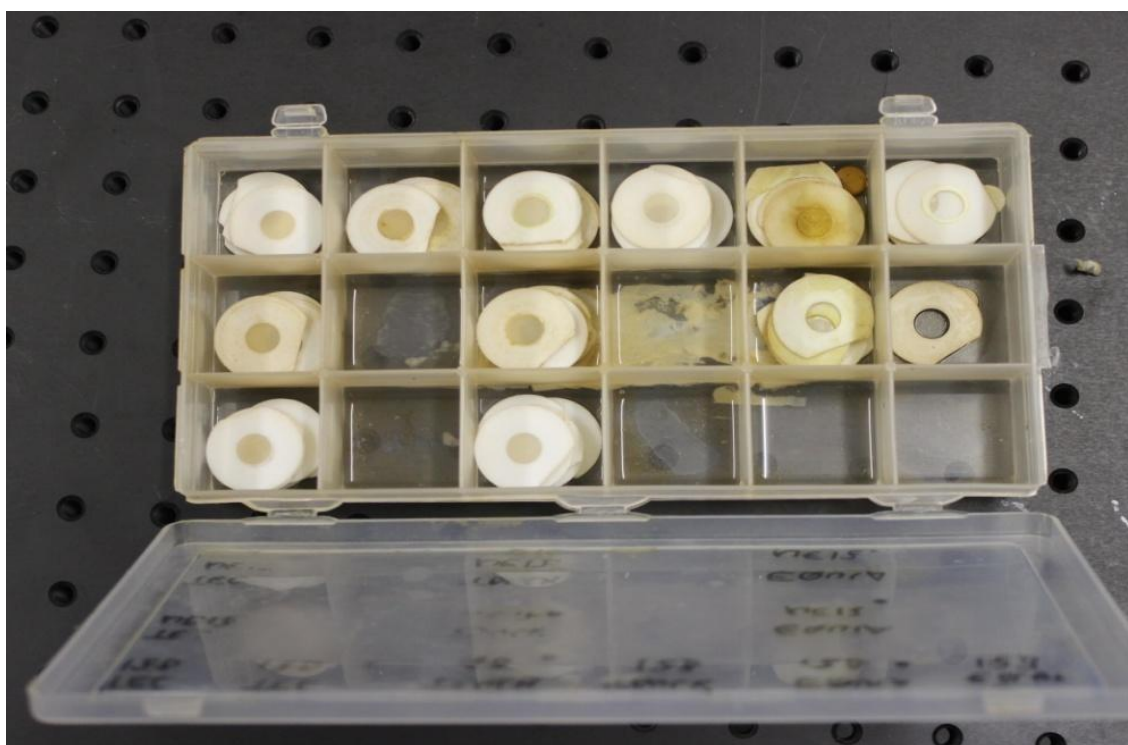
Za pripremu uzorka korišteni su okrugli teflonski kalupi debljine 1 i 2 mm, s unutrašnjim, u obliku kruga izrezanim, prostorom promjera 9 mm. Teflonski prestenovi su postavljeni na staklenu površinu debljine 1 mm i promjera 25 mm na koju je postavljena Maylar folija, unutarnji promjer je napunjen kompozitom (TEC, TECBF) koristeći pri tome metalnu špatulu. Na gornju površinu uzorka ponovno je postavljena Maylar folija koja je pritisnuta okruglim staklom debljine 1 mm i promjera 25 mm kako bi se postigla što ravnija površina i uklonio višak materijala. Kompozit je nakon toga polimeriziran 20 sekundi LED polimerizacijskom lampom Style (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) snage 1100 mW/cm². Nakon skidanja folije površine uzoraka polirane su pomoću karborudnih diskova uz vodeno hlađenje (Water Proof Silicon Carbide Paper, 4000 grit; Buehler, Dusseldorf, Njemačka) i 1,0 μ m, 0,3 i 0,05 μ m veličine čestica praha za poliranje (Buehler, Dusseldorf, Njemačka). Uzorci su zatim isprani destiliranom vodom i ostavljeni u destiliranoj vodi u zatvorenoj kutijici u inkubatoru (Cultura Incubator, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) u relativnoj vlažnosti i na temperaturi od 37 °C tijekom 24 sata kako bi se završila polimerizacija (Slika8.).



Slika 8. Uzorci za mjerenje boje i mikrotvrdoće

Uzorci staklenoionomernog cementa (EQUIA) pripremljeni su uz pomoć prethodno navedenih kalupa, koristeći jednaku metodu, a sam materijal je unesen direktno kroz kanilu kapsule prethodno izmiješane u univerzalnoj mješalici - amalgamatoru (Septodont, Francuska) u trajanju od 10 sekundi. Staklenoionomerni cement polimerizirao se kemijskom reakcijom. Površina staklenoionomernog cementa premazana je nanopunjenim premazom Equia Coat (GC, Japan) koji je polimeriziran 10 sekundi LED polimerizacijskom lampom Style (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) snage 1100 mW/cm².

Ukupno je napravljeno 120 uzoraka. 60 uzoraka (20 TEC, 20 uzoraka TECBF i 20 uzoraka EQUIA) debljine 2 mm koji su se koristili za mjerenje promjene boje i mikrotvrdoće prije, nakon izbjeljivanja i nakon bojanja u čaju. 60 uzoraka (20 uzoraka TEC, 20 uzoraka TECBF kompozita i 20 uzoraka EQUIA) debljine 1 mm koristili su se za mjerenje promjene transmisije svjetlosti kroz uzorak prije, nakon izbjeljivanja i nakon bojanja u čaju (Slika9.).



Slika 9. Uzorci za mjerenje transmisije

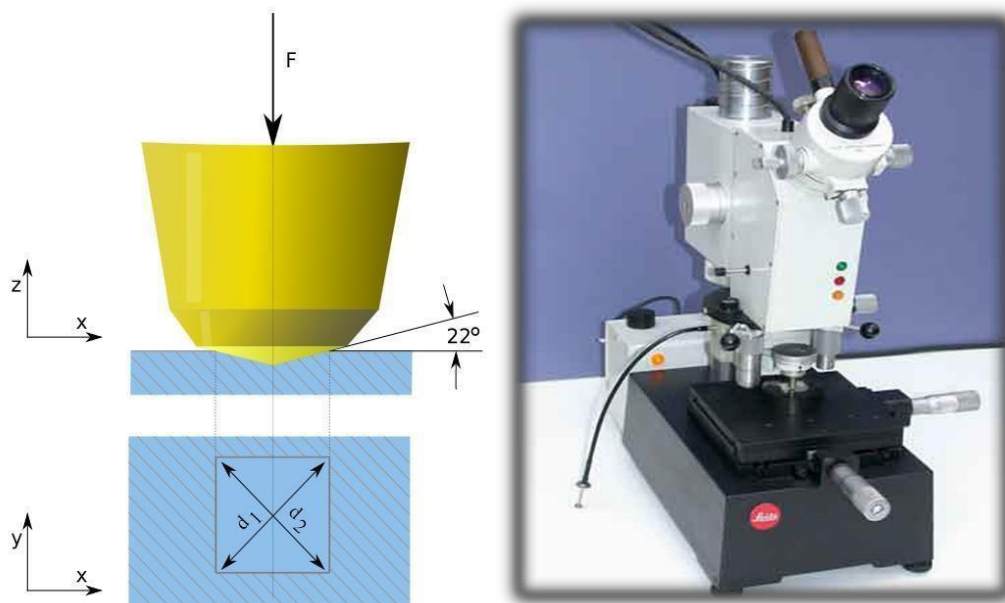
3.5. POSTUPCI

3.5.1. Izbjeljivanje restaurativnih materijala

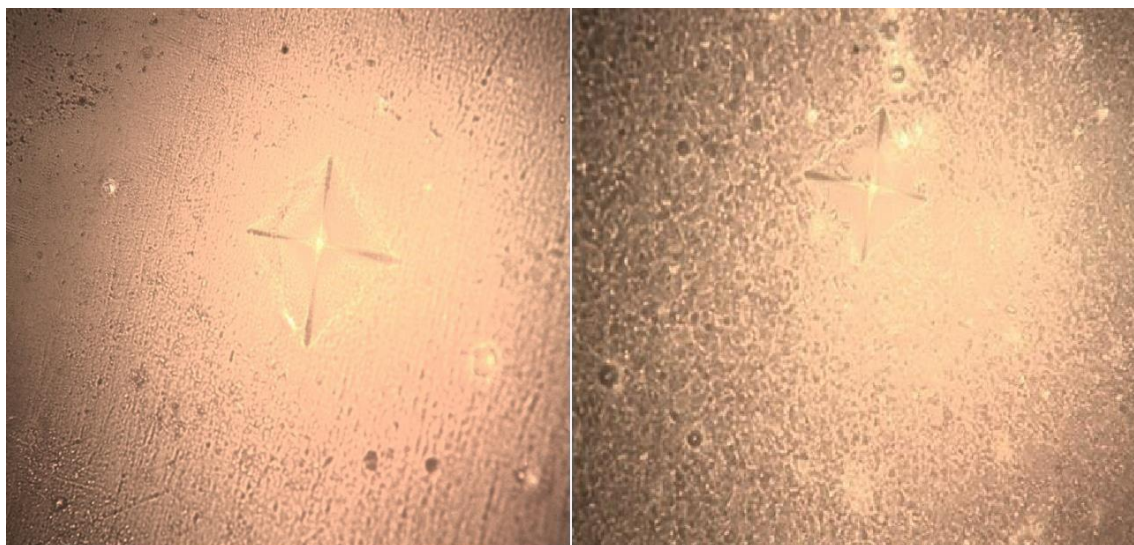
Prije izbjeljivanja uzorci su osušeni pamučnom vatom. Uzorci (n=20) svakog materijala (TEC, TECBF, EQUIA) za mjerenje mikrotvrdoće i promjene boje nasumično su podijeljeni u skupine (n=10) na čiju površinu je postavljen 40% gel vodikovog peroksida pomoću Heidemanove špatule u sloju debelom 2 mm. Izbjeljivanje je trajalo 45 minuta (3x15 minuta). U kontrolnoj skupini (n=10) uzorci su držani u destiliranoj vodi 45 minuta. Za vrijeme izbjeljivanja uzorci su postavljeni na pamučnu vatu natopljenu u destiliranu vodu da ne bi došlo do dehidracije. Nakon izbjeljivanja gel je uklonjen špatulom, a površina uzoraka je isprana destiliranom vodom. Isto je ponovljeno s uzorcima za mjerenje transmisije.

3.5.2. Mjerenje mikrotvrdoće

Uzorci (n=20) svakog materijala (TEC, TECBF, EQUIA) debljine 2 mm nasumično su podijeljeni u skupine (n=10) na čiju površinu je postavljen 40% gel vodikovog peroksida s pomoću Heidemanove špatule u sloju debelom 2 mm. Izbjeljivanje je trajalo 45 minuta (3x15 minuta). U kontrolnoj skupini (n=10) uzorci su držani u destiliranoj vodi 45 minuta, a nakon toga su se izbijeljili i uzorci držani u destiliranoj vodi bojali u otopini čaja na sobnoj temperaturi kroz 3 sata dnevno, a ostatak vremena proveli su u destiliranoj vodi u inkubatoru na 37 °C. Uzorci su bojani tijekom 14 dana. Mikrotvrdoća uzoraka neposredno prije, nakon izbjeljivanja i nakon bojanja u čaju testirana su Vickersovim testom mikrotvrdoće (Leitz Miniload 2 Microhardnes Tester, Njemačka) pri čemu je korištena sila od 100 g kroz 10 sekundi. Za mjerenje je korištena dijamantna piramida koja je aplicirana na površinu uzorka. Pomoću mjernog mikroskopa mjerene su dijagonale (d1, d2) baze piramide otisnute u materijalu, a tvrdoća je određena prema izrazu: $HV = F \times 0,189 / d^2$ gdje je F primijenjena sila u N, d aritmetička srednja vrijednost dijagonala baze piramide u mm ($d = (d1 + d2) / 2$). Mjerenja su se izvršena na trima različitim mjestima udaljenosti 100 µm i izračunata je srednja vrijednost. Tri mjerenja su obavljenja prije izbjeljivanja, tri nakon izbjeljivanja i tri nakon bojanja u čaju tijekom 14 dana ili držanja u destiliranoj vodi također tijekom 14 dana (Slika10, Slika11.).



Slika 10. Uređaj za mjerenje mikrotvrdoće



Slika 11. Mjerenje mikrotvrdoće

3.5.3. Mjerenje promjene boje

Boja restaurativnih materijala mjerena je VITA Easychade (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka) spektrometrom. To je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Spektrometar mjeri boju uzorka na temelju CIEL*a*b* sustava boja koji omogućuje da boja bude određena u trodimenzionalnom sistemu određivanja boja. L* predstavlja vrijednost svjetline ili tame, a* vrijednost označava vrijednost tj. Zastupljenost crvene boje (pozitivni a*) ili zelene (negativni a*). Vrijednost b* je mjera žute boje (pozitivni b*) ili plave (negativni b*). Razlika u boji TEC, TECBF I EQUIE (ΔE) izračunata je koristeći formulu $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ kako bi smo usporedili vrijednost prije i nakon raznih postupaka. Uzorci (n=20) svakog materijala (TEC, TECBF, EQUA) debljine 2 mm nasumično su podijeljeni u skupine (n=10) na čiju površinu je postavljen 40% gel vodikovog peroksida pomoću Heidemanove špatule u sloju debelom 2 mm. Izbjeljivanje je trajalo 45 minuta (3x15 minuta). U kontrolnoj skupini (n=10) uzorci su držani u destiliranoj vodi 45 minuta. Nakon toga su izbijeljeni i uzorci držani u destiliranoj vodi (kontrola) bojani u otopini čaja na sobnoj temperaturi tijekom 3 sata dnevno, a ostatak vremena proveli su u destiliranoj vodi u inkubatoru na 37 °C. Uzorci su se bojali tijekom 7 i 14 dana. Boja je zabilježena neposredno prije izbjeljivanja i neposredno nakon izbjeljivanja (n=10), a nakon toga su uzorci nasumično raspoređeni i dalje tretirani bojanjem u čaju kroz 7 i 14 dana (n=5), a ostali su držani u destiliranoj vodi kroz 7 i 14 dana (n=5). Isto je ponovljeno i s uzorcima u kontrolnoj skupini koje nisu izbjeljivani. Mjerenje je rađeno tako da je vrh spektrometra, koji je bio presvučen zaštitnom folijom za sprječavanje infekcije i kontaminacije, usmjeren na sredinu površine uzorka. Mjerenja su ponovljena tri puta i instrument je zatim automatski uprosječio mjerenja za svaki uzorak, a ona su zatim korištena za sveukupnu analizu podataka. Sva mjerenja proveo je isti istraživač, pod jednakim uvjetima (Slika12.).



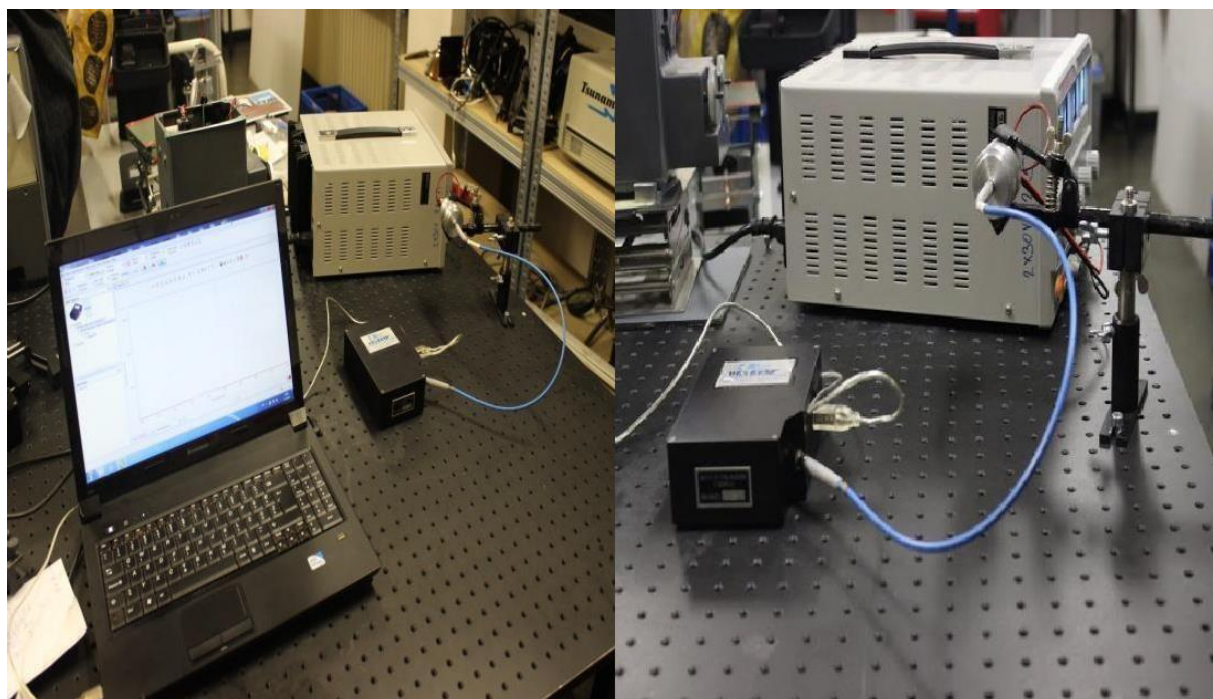
Slika 12. VITA Easyshade spektrometar

3.5.4. Mjerenje transmisije

Apsorpcijski koeficijent materijala je eksperimentalno mjeren koristeći bijelu LED diodu (izvor svjetlosti), držač uzorka, optičko vlakno i spektrometar. Korištena je snažna bijela LED (svjetleća dioda) snage 9W (LED Engin Inc, San Jose, SAD). Uzorak debljine 1 mm i promjera 9 mm unutar teflonskog prstena postavljen je između izvora svjetlosti (LED diode) i optičkog vlakna kojim je onda svjetlost dovedena do spektrometra. Korišten je spektrometar Ocean Optics HR4000, rezolucije 0,75 nm (OceanOptics, Dunedin, SAD). Mjerena je razlika u transmisiji svjetlosti kroz uzorke visokoviskoznog konvencionalnog kompozita, bulk fill kompozita i staklenoionomernog cementa neposredno prije izbjeljivanja, nakon izbjeljivanja i nakon bojanja u čaju ili držanja u destiliranoj vodi). Uzorci (n=20) svakog materijala (TEC, TECBF, EQUIA) nasumično su podijeljeni u skupine (n=10) na čiju površinu je postavljen 40% gel vodikovog peroksida pomoću Heidemanove špatule u sloju debelom 2 mm. Izbjeljivanje je trajalo 45 minuta (3x15 minuta). U kontrolnoj skupini (n=10) uzorci su držani u destiliranoj vodi 45 minuta. Nakon toga su izbijeljeni i uzorci držani u destiliranoj vodi (kontrola) bojani u otopini čaja na sobnoj temperaturi tijekom 3 sata dnevno, a ostatak vremena bili su u destiliranoj vodi u inkubatoru na 37 °C. Uzorci su se bojali tijekom 7 i 14 dana. Boja je zabilježena neposredno prije izbjeljivanja i neposredno nakon izbjeljivanja (n=10), a nakon toga su uzorci nasumično raspoređeni i dalje tretirani bojanjem u čaju tijekom 7 i 14 dana (n=5), a ostali su držani u destiliranoj vodi tijekom

7 i 14 dana ($n=5$).

Isto je ponovljeno i s uzorcima u kontrolnoj skupini koje nisu izbjeljivani. Na temelju intenziteta svjetlosti detektiranog na spektrometru $I(\lambda)$, i poznavanja početnog intenziteta $I_0(\lambda)$, koji zapravo predstavlja neapsorbirani spektar bijele LED diode (bez uzroka) može se izračunati apsorpcijski koeficijent iz Beer-Lambertova zakona: $I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-k(\lambda) \cdot x}$ gdje je x duljina puta svjetlosti kroz uzorak (njegova debljina), a $k(\lambda)$ apsorpcijski koeficijent (Slika 13.).



Slika 13. Set up za mjerenje transmisije

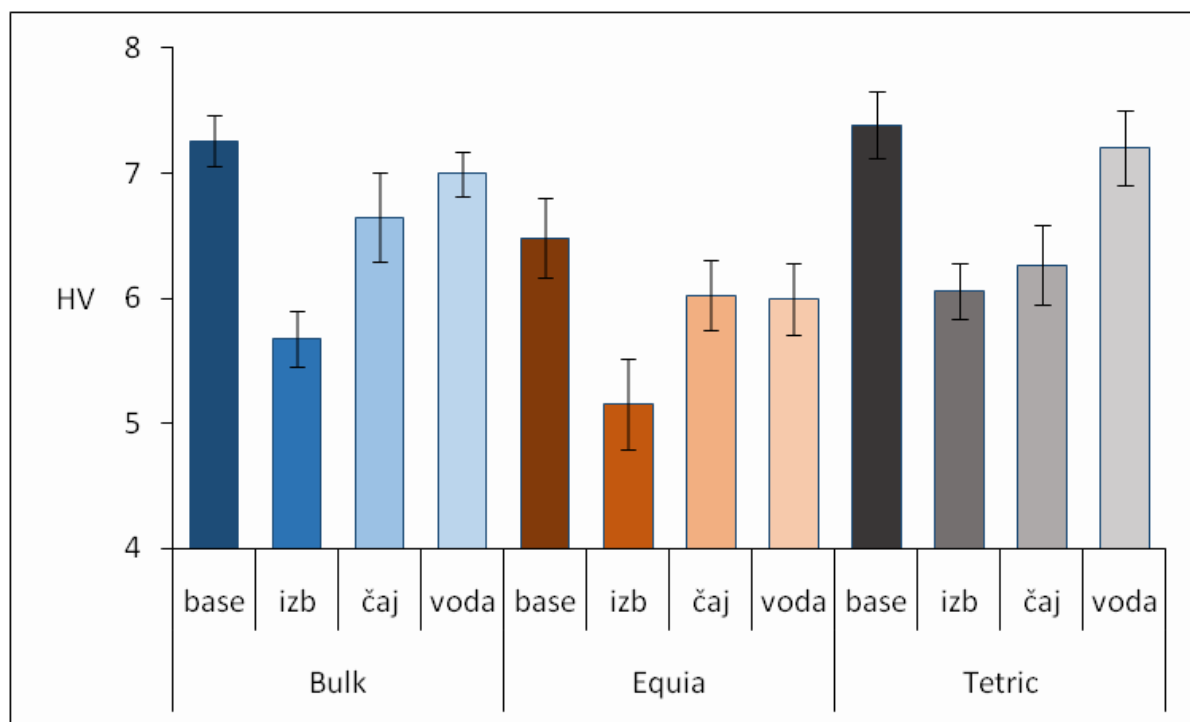
3.6. Statističke metode

Rezultati istraživanja prikazani su deskriptivno u obliku aritmetičkih sredina, standardnih devijacija i 95%-tnih intervala pouzdanosti. Za analizu mikrotvrdoće i promjene boje korištena je dvofaktorska analiza varijance (ANOVA). Kao faktori korišteni su vrsta materijala (TEC, TECBF i EQUI) i vrsta tretmana (bez tretmana, izbjeljivanje, čaj i voda). Grafički prikaz reziduala i rezultati Anderson-Darling testa ($p > 0,250$) ukazali su na normalnu distribuiranost izmjerenih vrijednosti mikrotvrdoće. Homogenost varijance analizirana je Brown-Forsythe's testom ($p = 0,368$) i grafičkim prikazom aritmetičkih sredina i pripadajućih standardnih devijacija odnosno varijance. Oba pokazatelja ukazala su na homogenost varijance između različitih vrsta materijala odnosno tretmana. Isti su pokazatelji prilikom analize promjene boje ukazali na leptokurtičnost distribucije izmjerenih vrijednosti i heterogenost varijance. Mogućnost poboljšanja svojstava distribucije testirana je BoxCox testom koji je ukazao na potrebu logaritamske transformacije. Nakon logaritmiranja, izmjerene vrijednosti promjene boje bile su približno normalno distribuirane (Anderson-Darling test $p = 0,217$) i nije zapažen problem heterogenosti varijance (Brown-Forsythe's test $p = 0,985$). Prema tome, analiza promjene boje provedena je na logaritmiranim vrijednostima koje su eksponencijalnom transformacijom prebačene na originalnu skalu prilikom prezentacije rezultata. Rezultati su analizirani na razini značajnosti od 0,05. Za planiranu usporedbu pojedinačnih grupa korištena je Benjamini-Hochberg korekcija za višestruke usporedbe kako bi se smanjila vjerojatnost pogreške tipa I odnosno odbacivanja istinite nul-hipoteze (pretpostavke o nepostojanju razlika među grupama). Analiza je provedena korištenjem SAS System 8.2 programskog paketa.

4. REZULTATI

4.1. Mikrotvrdoća

Prosječne vrijednosti i pripadajući 95%-tni intervali pouzdanosti za promatrane materijale – TEC, TECBF i EQUIA nakon različitih tretmana – base (početno mjerenje, bez tretmana), izb (nakon izbjeljivanja u trajanju od 45 min), čaj (nakon dvotjednog tretmana u čaju) i voda (nakon dvotjednog tretmana u vodi) (Slika14.).



Slika 14. Usporedba prosječnih vrijednosti mikrotvrdoće s 95%-tnim intervalima pouzdanosti za TECBF, EQUIA i TEC nakon različitih tretmana

Početna mjerenja mikrotvrdoće za EQUIA bila su u prosjeku značajno niža nego početna mjerenja za TECBF ($p < 0,001$) i TEC ($p < 0,001$) (Tablica2.). Nakon izbjeljivanja došlo je do značajnog smanjenja mikrotvrdoće, koje je u prosjeku bilo najizraženije kod TECBF ($\Delta HV = -1,6$; $p < 0,001$) te podjednagog intenziteta kod upotrebe EQUIA i TEC ($\Delta HV = -1,3$; $p < 0,001$). Mikrotvrdoća nakon izbjeljivanja bila je u prosjeku značajno niža za EQUIA ($HV = 5,2$) u

odnosu na TECBF (HV = 5,7; $p = 0.011$) i TEC (HV = 6,1; $p < 0.001$). Tretman u čaju također je uzrokovao značajno smanjenje mikrotvrdoće, ali manjeg intenziteta nego izbjeljivanje. Smanjenje je u prosjeku bilo najizraženije kod TEC ($\Delta HV = -1,1$; $p < 0.001$), a slijedi TECBF ($\Delta HV = -0,6$; $p < 0.001$) i EQUIA ($\Delta HV = -0,5$; $p = 0,043$). Tretman u vodi nije uzrokovao značajan pad mikrotvrdoće u odnosu na početna mjerenja prilikom korištenja BULK ($p = 0,147$) i TEC ($p = 0,346$), za razliku od EQUIA ($\Delta HV = -0,5$; $p = 0,035$).

Tablica 2. Usporedba mikrotvrdoće različitih materijala nakon različitih tretmana

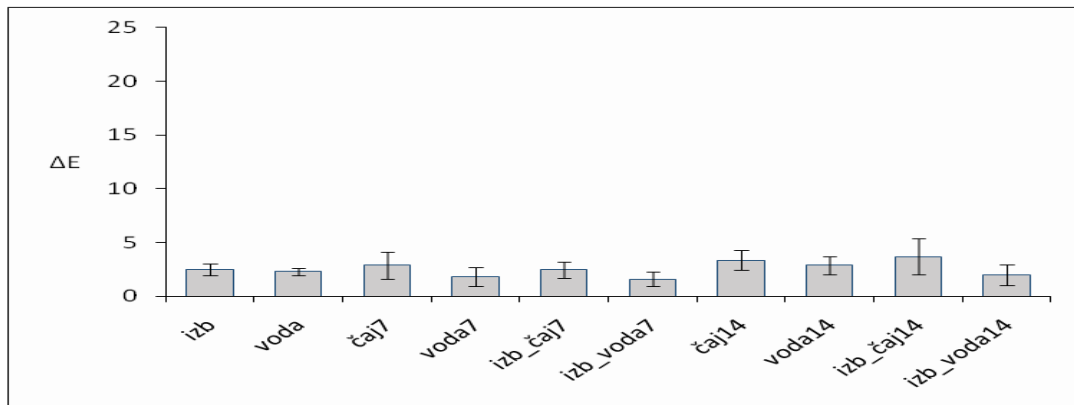
Tretman/ materijala	Početno		Nakon		Nakon čaja		Nakon vode	
	mjerenje		izbjeljivanja					
	Arit. Sredina	SD ¹	Arit. sredina	SD ¹	Arit. sredina	SD ¹	Arit. sredina	SD ¹
Bulk	7,26 A	0,39	5,68 B 0,41		6,65 C 0,65		7,00 A,C 0,32	
Equia	6,48 D 0,59		5,15 E 0,66		6,02 F 0,51		6,00 F 0,51	
Tetric	7,39 A	0,50	6,06 F 0,40		6,26 F 0,57		7,20 A 0,53	

Napomena: Ista slova u retku označavaju nepostojanje statistički značajnih razlika među tretmanima, dok ista slova u stupcu označavaju nepostojanje statistički značajnih razlika među različitim materijalima. ¹ SD = standardna devijacija.

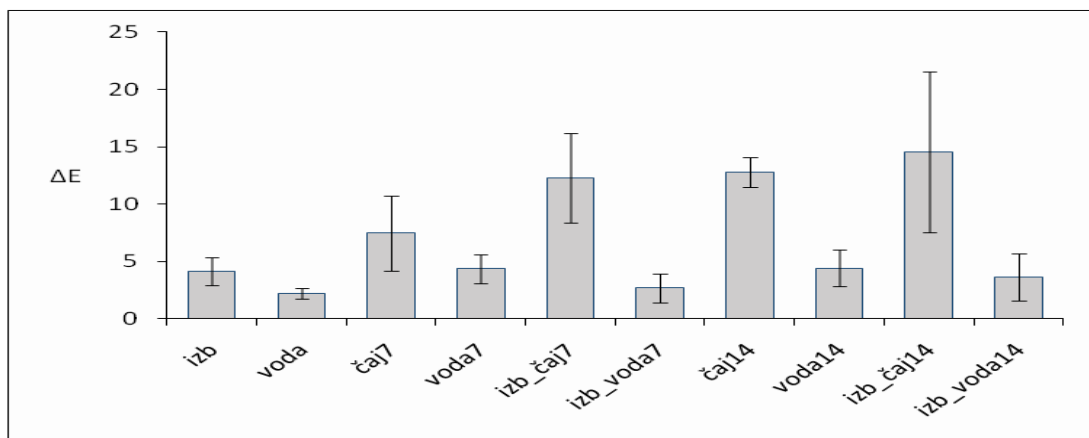
4.2. Promjena boje

Prosječne vrijednosti i pripadajući 95%-tni intervali pouzdanosti za promatrane materijale – TECBF, EQUIA i TEC nakon različitih tretmana – izb (izbjeljivanje 45 min), voda (voda 45 min), čaj7 (čaj 7 dana), voda7 (voda 7 dana), izb_čaj7 (izbjeljivanje 45 min i čaj 7 dana), izb_voda7 (izbjeljivanje 45 min i voda 7 dana), čaj14 (čaj 14 dana), voda14 (voda 14 dana), izb_čaj14 (izbjeljivanje 45 min i čaj 14 dana) te izb_voda14 (izbjeljivanje 45 min i voda 14 dana) (Slika15.).

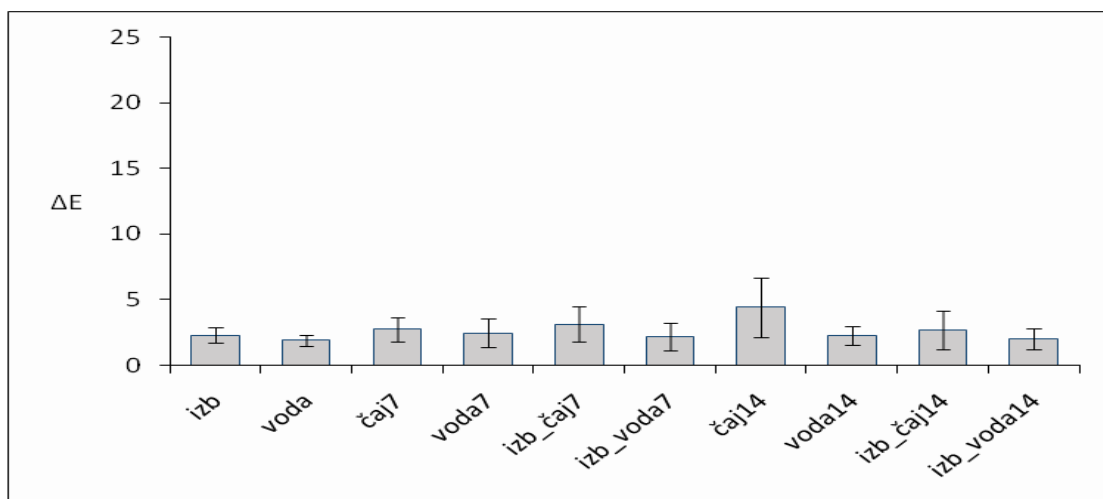
a) TECBF



EQUIA



TEC



Slika 15. Usporedba prosječnih vrijednosti promjene u boji (ΔE) s 95%-tnim intervalima pouzdanosti za TECBF (a), EQUIA (b) i TEC (c) nakon različitih tretmana

Efekti različitih tretmana na promjenu boje pojedinog materijala prikazani su u Tablici 3. Tretmani s vodom uspoređivani su isključivo s onim tretmanima kojima su služili kao kontrola. Kod TECBF i TEC u pravilu nije došlo do značajne promjene u boji nakon različitih tretmana. Prilikom upotrebe TECBF jedino je usporedba dvotjednog tretmana u čaju nakon prethodnog izbjeljivanja (izb_čaj14) u odnosu na dvotjedni tretman u vodi (izb_voda14) nakon prethodnog izbjeljivanja rezultirala statistički značajnom razlikom u promjeni boje (razlika u $\Delta E = 1,9$; $p = 0,008$). Kod TEC značajne razlike u promjeni boje također su zabilježene tek nakon dvotjednih tretmana. Dvotjedni tretman u čaju bez izbjeljivanja (čaj14) u prosjeku je rezultirao značajno većom vrijednošću ΔE od istih vrijednosti nakon 45-minutnog izbjeljivanja (izb; $p = 0,004$), dvotjednog tretmana u čaju nakon prethodnog izbjeljivanja (izb_čaj14; $p = 0,049$) te dvotjednog tretmana u vodi bez izbjeljivanja (voda14; $p = 0,013$). Upotreba EQUIA rezultirala je znatno većom varijabilnošću boje nakon različitih tretmana (Slika 15.). Jedino usporedbama dvotjednog tretmana u čaju nakon izbjeljivanja (izb_čaj14) s dvotjednim tretmanom u čaju bez izbjeljivanja (čaj14) i sedmodnevnim tretmanom u čaju nakon izbjeljivanja (izb_čaj7) nisu zapažene značajne razlike u boji kod EQUIA. Ovi tretmani ujedno su rezultirali najvećim prosječnim vrijednostima ΔE , dok su najniže zabilježene nakon tretmana u vodi (Slika 15). Kod EQUIA najveća razlika u boji zabilježena je nakon sedmodnevnog tretmana u čaju nakon izbjeljivanja (izb_čaj7) u odnosu na sedmodnevni tretman u vodi nakon izbjeljivanja (izb_voda7), pri čemu su prilikom tretmana u čaju u prosjeku zabilježene 4,7 puta veće vrijednosti ΔE ($p < 0,001$).

Tablica 3. Usporedba mikrotvrdoće za različite materijale nakon različitih tretmana

Usporedba tretmana	Bul		Equi		Tetri	
	Arit. sredina	p vrijednost	Arit. sredina	p vrijednost	Arit. sredina	p vrijednost
izb vs. Voda	1,049	0,791	1,799	0,001	1,201	0,394
izb vs. izb_čaj7	0,990	0,960	0,319	< 0,001	0,741	0,202
izb vs. čaj7	0,862	0,565	0,534	0,003	0,826	0,445
izb vs. izb_čaj14	0,671	0,076	0,278	< 0,001	0,890	0,633
izb vs. čaj14	0,716	0,153	0,298	< 0,001	0,536	0,004
izb_čaj7 vs. izb_voda7	1,615	0,066	4,674	< 0,001	1,461	0,158
izb_čaj7 vs. čaj7	0,870	0,630	1,670	0,049	1,114	0,703
izb_čaj7 vs. voda7	1,378	0,246	2,781	< 0,001	1,293	0,389
izb_čaj7 vs. izb_čaj14	0,677	0,152	0,870	0,630	1,201	0,536
čaj7 vs. voda7	1,583	0,076	1,665	0,049	1,161	0,629
izb_čaj14 vs. izb_voda14	1,928	0,008	4,024	< 0,001	1,274	0,412
izb_čaj14 vs. čaj14	1,068	0,791	1,074	0,791	0,602	0,049
izb_čaj14 vs. voda14	1,236	0,464	3,184	< 0,001	1,122	0,691
čaj14 vs. voda14	1,158	0,629	2,966	< 0,001	1,864	0,013

Geometrijska sredina dobivena antilogaritmiranjem razlike u prosječnim logvrijednostima uspoređivanih grupa.

Usporedba različitih materijala ukazuje na nepostojanje statistički značajnih razlika u boji između TECBF i TEC, bez obzira na vrstu tretmana. No, usporedba ovih materijala s EQUIA rezultirala je značajnim razlikama u boji kod svih tretmana osim tretmana u vodi (Tablica 4.). Najveći porast vrijednosti ΔE nakon korištenja EQUIA u odnosu na TECBF zabilježen je kod sedmodnevnog tretmana u čaju nakon izbjeljivanja (izb_čaj7; u prosjeku 5,0 puta veće vrijednosti ΔE , $p < 0,001$), a u odnosu na TEC kod dvotjednog tretmana u čaju nakon izbjeljivanja (izb_čaj14; u prosjeku 5,5 puta veće vrijednosti ΔE , $p < 0,001$).

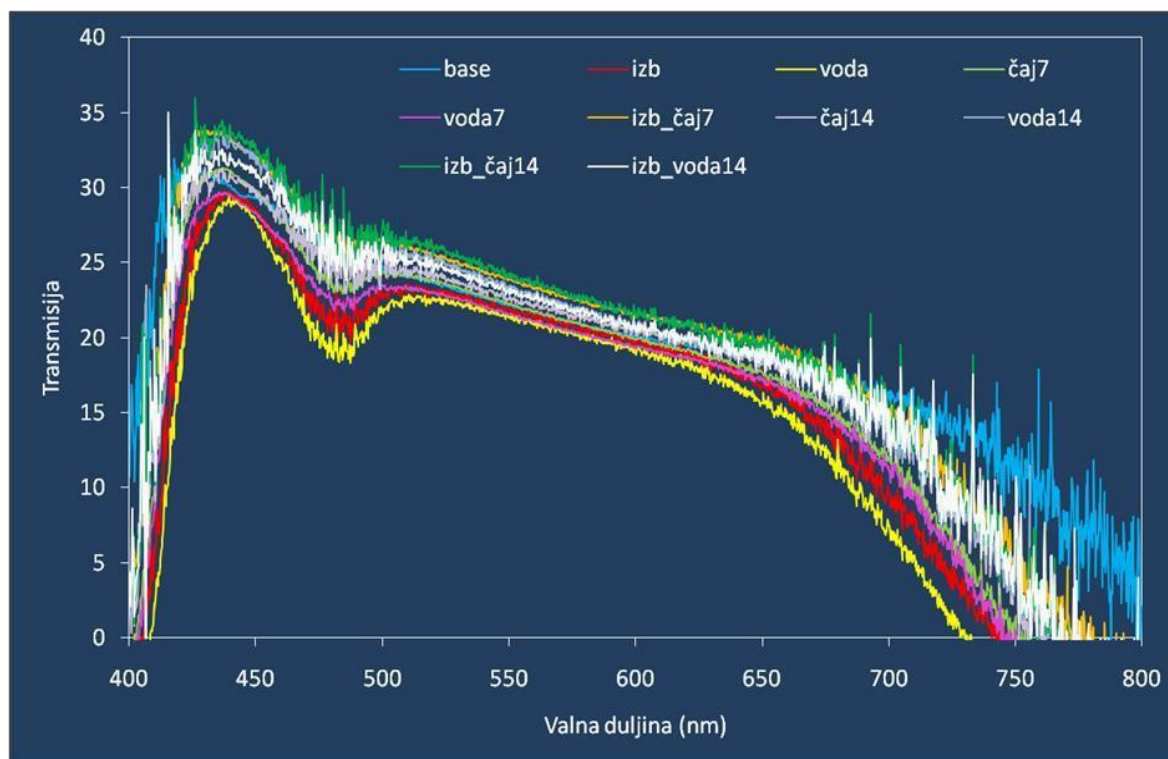
Tablica 4. Usporedba mikrotvrdoće nakon različitih tretmana između različitih materijala

Tretman	Usporedba materijala					
	TECBF vs. TEC		TECBF vs. EQUA		TEC vs. EQUA	
	Arit. sredina ¹	p-vrijednost	Arit. sredina ¹	p-vrijednost	Arit. sredina ¹	p-vrijednost
Izb	1,066	0,754	0,618	0,006	0,580	0,002
Voda	1,221	0,350	1,060	0,769	0,868	0,511
izb_čaj7	0,798	0,441	0,199	< 0,001	0,250	< 0,001
čaj7	1,021	0,940	0,382	< 0,001	0,375	< 0,001
izb_čaj14	1,414	0,202	0,256	< 0,001	0,181	< 0,001
čaj14	0,797	0,441	0,257	< 0,001	0,323	< 0,001

Geometrijska sredina dobivena antilogaritmiranjem razlike u prosječnim logvrijednostima uspoređivanih grupa.

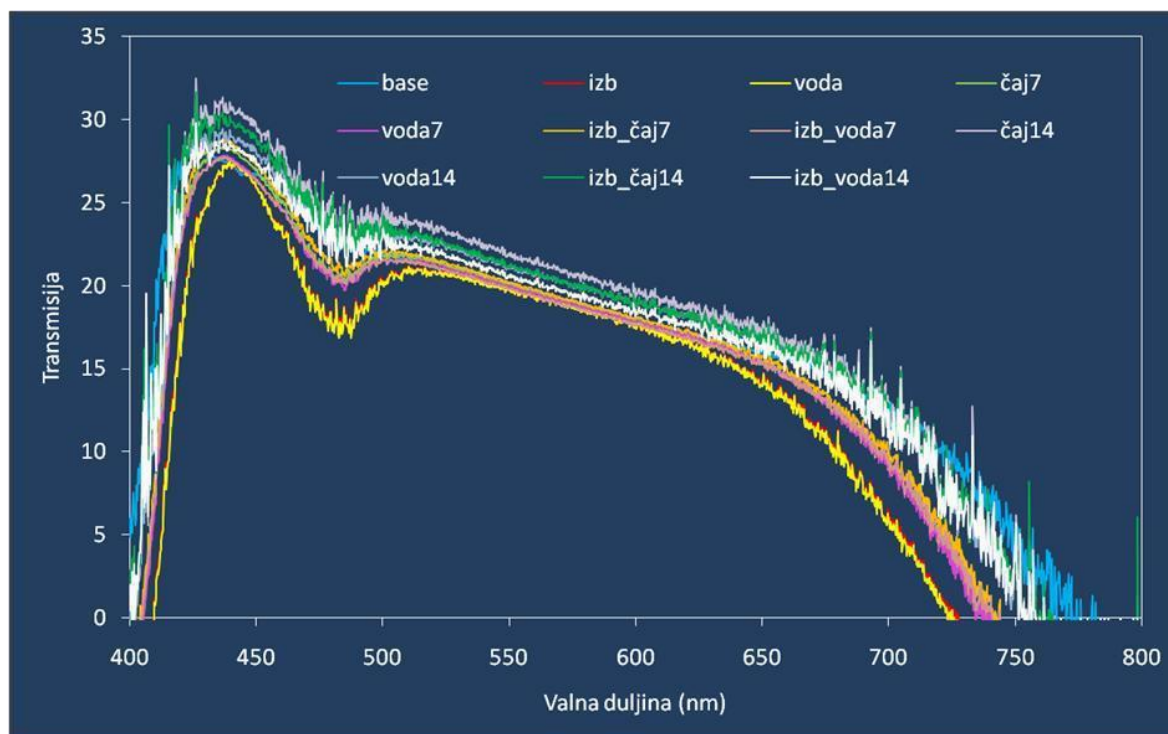
4.3. Transmisija

Uzorci TEC mjereni nakon polimerizacije u vidljivom dijelu spektra (400-700 nm) pokazuju najmanji koeficijent apsorpcije tj. bolju transmisiju svjetlosti (najviše su propuštali svjetlo). Uzorci koji su izbjeljivani te neizbjeljeni uzorci koju su držani u vodi za vrijeme trajanja izbjeljivanja (kontrola) nisu pokazali veći koeficijent apsorpcije tj. nisu bolje propuštali svjetlost u odnosu na uzorke mjerene nakon polimerizacije tj. prije izbjeljivanja. Najveći koeficijent apsorpcije tj. najmanju transmisiju kroz uzorak debljine 1 mm pokazali su uzorci TEC obojani u čaju tijekom 7, a još neznatno veći oni nakon 14 dana bojanja u čaju. Nije zabilježena razlika između koeficijenta apsorpcije kod izbjeljenih i neizbjeljenih uzorka bojanih u čaju (Slika16.).



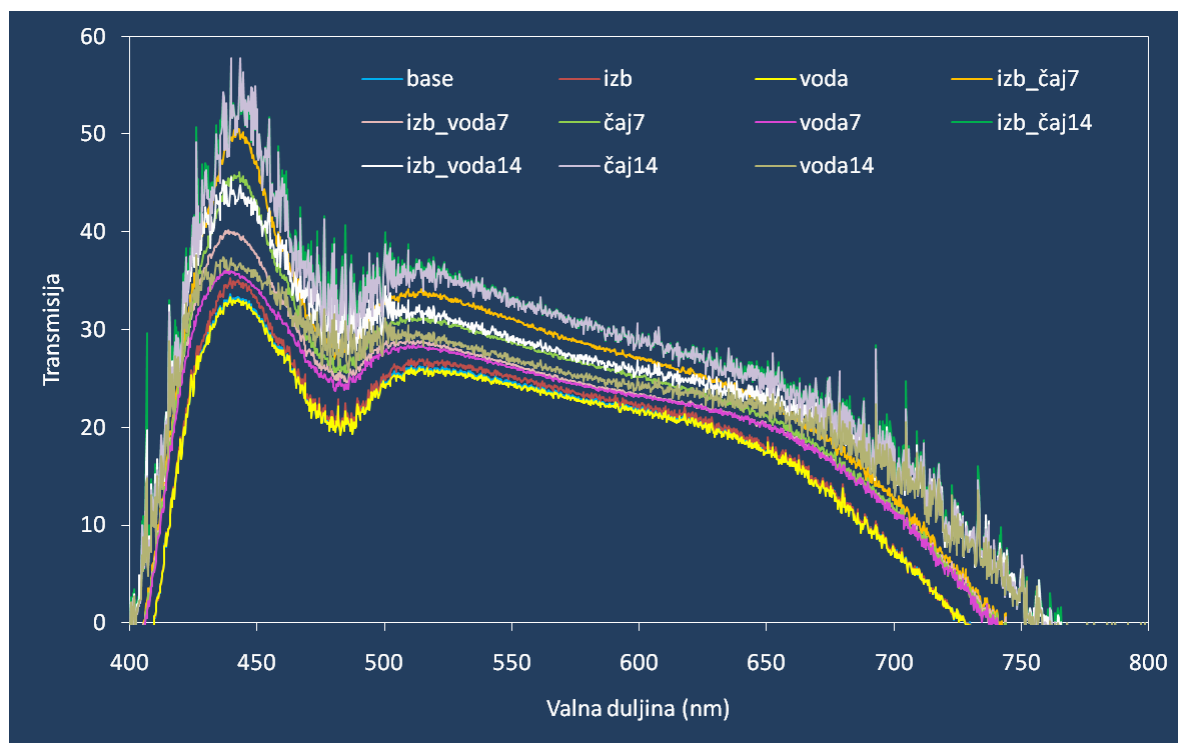
Slika 16. Rezultati transmisije za TEC u vidljivom dijelu spektra (400-800 nm)

Uzorci TECBF imaju sličnu tendenciju oblika apsorpcijskog profila TEC uzorcima s tendencijom da je najveća apsorpcija zabilježena na 440 nm. Najmanji koeficijent apsorpcije tj. najbolju transmisiju (propuštanje svjetlosti kroz uzorak) imaju uzorci mjereni nakon polimerizacije. Uzorci koji su izbjeljivani te neizbijeljeni uzorci koju su držani u vodi za vrijeme trajanja izbjeljivanja (kontrola) nisu pokazali veći koeficijent apsorpcije tj. nisu bolje propuštali svjetlost u odnosu na uzorke mjerene nakon polimerizacije tj. prije izbjeljivanja. Neizbijeljeni uzorci koji su držani u čaju tijekom 14 dana pokazuju najveći koeficijent apsorpcije tj. najmanju transmisiju svjetlosti kroz uzorak. Nije zabilježena razlika između koeficijenta apsorpcije kod izbijeljenih i neizbijeljenih uzoraka bojanih u čaju (Slika 17).



Slika 17. Rezultati transmisije za TECBF u vidljivom dijelu spektra (400-800 nm)

Oblik apsorpcijske krivulje za uzorake EQUIA vrlo je sličan obliku apsorpcijske krivulje TEC i TECBF uzoraka s time da se sam iznos koeficijenta apsorpcije za različito tretirane uzorke EQUIA materijala razlikuje međusobno i za 50% na određenoj valnoj duljini, dok se kod TEC i TECBF uzoraka koeficijent apsorpcije za različite uzorke na istoj valnoj duljini razlikovao za maksimalno 10-20% iz čega proizlazi da su EQUIA uzorci mjereni neposredno nakon završene kemijske reakcije stvrdnjavanja materijala, tj. početni kao i uzorci nakon izbjeljivanja i oni koji su držani u vodi (kontrola) pokazali najmanji koeficijent apsorpcije, dok su izbijeljeni i neizbijeljeni uzorci koji su bojani u čaju tijekom 7 i 14 dana imali najveći koeficijent apsorpcije i najmanje su propuštali svjetlost. Nije zabilježena razlika između koeficijenta apsorpcije kod izbijeljenih i neizbijeljenih uzorka bojanih u čaju (Slika18.).



Slika 18. Rezultati transmisije za EQUA u vidljivom dijelu spektra (400-800 nm)

5. RASPRAVA

Kompozitni materijali razlikuju se međusobno prema raznim karakteristikama, kao što su veličina, količina i vrsta čestica punila, kao i prema fizičkim i mehaničkim svojstvima samog materijala (48). Nanotehnologija podrazumijeva proizvodnju funkcionalnih materijala i struktura u rasponu veličine 0.1-100 nm, koristeći pri tome različite fizikalne ili kemijske metode (49). Nanohibridni kompozit je tako kompozit koji posjeduje nano čestice punila u prepolimeriziranoj formi (48). Uspjeh dentalnih restoracija tako ovisi o njihovim mehaničkim svojstvima kao što su otpornost na savijanje, otpornost na lom, savojna čvrstoća, otpornost na trošenje. Idealni restaurativni materijal trebao bi ostati nepromijenjen pod utjecajem sredstava za izbjeljivanje, no njihov učinak na mikrotvrdoću materijala (20) i promjenu boje (50,51) ostaje do danas kontroverzan. Mikrotvrdoća materijala ovisi o vrsti i sastavu kompozitnog materijala kao i o njegovoj sposobnosti degradacije i obojenja (52). Učinci izbjeljivanja na mikrotvrdoću restaurativnih materijala su još u potpunosti nedokazani, a sam učinak temelji se na razlici u sastavu materijala (53,54). U našem istraživanju zabilježeno je značajno smanjenje površinske mikrotvrdoće nakon 45 minutnog izbjeljivanja 40 % gelom vodikovog peroksida, koje je u prosjeku bilo najizraženije kod nanohibridnog TECBF ($\Delta HV = -1,6$; $p < 0.001$) te podjednako intenziteta kod upotrebe EQUIA kao i nanohibridnog TEC ($\Delta HV = -1,3$; $p < 0.001$). Mikrotvrdoća nakon izbjeljivanja bila je u prosjeku značajno niža za EQUIA ($HV = 5,2$) u odnosu na TECBF ($HV = 5,7$; $p = 0.011$) i TEC ($HV = 6,1$; $p < 0.001$) što je slično istraživanjima Hashemi i sur. (55) koji su zabilježili značajno smanjenje površinske mikrotvrdoće kod mikrohibridnih i nanohibridnih kompozitnih materijala nakon korištenja 15% karbamid peroksida kroz dva tjedna odnosno 40 % vodikovog peroksida tijekom 20 minuta, a slično je dokazano i za mikropunjene kompozitne materijale (33,56). Topbasi i Atali su dokazali da izbjeljivanje 35 i 38 % vodikovim peroksidom također dovodi do značajnog smanjenja mikrotvrdoće kod hibridnih i mikrohibridnih kompozita dok je učinak kod nanohibrida slabiji (57). Al-Qahtani i sur. su dokazali da je veće smanjenje mikrotvrdoće zabilježeno kod mikrohibridnih silorana i nanohibridnih kompozita u odnosu na mikrohibridne kompozite nakon primjene 10 % karbamid peroksida (58). Suprotno našem istraživanju, dokazano je također da postupci izvještavanja niskim i visokim koncentracijama vodikovog i karbamid peroksida ne dovode do smanjenja površinske mikrotvrdoće (59). Polydorou i sur. su koristili sredstva za izbjeljivanje kod kuće (17) i u ordinaciji (22) i pri tome nisu zabilježili značajno smanjenje mikrotvrdoće kompozitnih materijala stoga ne

preporučuju zamjenu kompozitnih ispuna nakon postupka izbjeljivanja. Yu i sur. također nisu dokazali značajno smanjenje mikrotvrdoće nanohibridnih kompozita nakon primjene 15 % karbamid peroksida što se može pripisati učinku sline koja je kroz vrijeme razrijedila i smanjila učinak aktivnog sastojka sredstva za izbjeljivanje. Osim sredstva za izbjeljivanje i različite otopine koje mogu uzrokovati bojenje ispuna kao što su kava i vino, mogu dovesti i do smanjenja površinske mikrotvrdoće (61-64), što je također zabilježeno i kod nanohibridnih materijala, a taj učinak pripisuje se kiselom pH 4.2 vina tj. pH 5.5 kave. Slično je zabilježeno i u našoj studiji, gdje je vidljivo da je nakon bojanja u čaju kroz 14 dana također došlo do značajnog smanjenja površinske mikrotvrdoće, ali manjeg intenziteta nego za vrijeme izbjeljivanja. Smanjenje je u prosjeku bilo najizraženije kod TEC ($\Delta HV = -1,1$; $p < 0.001$), a slijedi TECBF ($\Delta HV = -0,6$; $p < 0.001$) i EQUIA ($\Delta HV = -0,5$; $p = 0,043$). Iz literature je poznato da zeleni čaj ima pH=7 što zapravo ne bi trebalo pridonijeti smanjenju mikrotvrdoće, no potencijalni učinak možda možemo pripisati dugom i svakodnevnom izlaganju čaju te potencijalnoj hidrolitičkoj degradaciji spoja smole i punila. Razlike između učinaka sredstava za izbjeljivanje na površinsku mikrotvrdoću pripisuju se načinu i vremenu aplikacije, sastavu i koncentraciji aktivnog sredstva i njegovom pH. Sredstava za izbjeljivanje su nestabilna i prilikom raspadanja otpuštaju slobodne radikale koji dovode do cijepanja polimernih lanaca i pucanja dvostrukih veza. Također, vodikov peroksid ima sposobnost difuzije (60- 65) pri čemu slobodni radikali mogu utjecati na spoj punila i smole (32) dovodeći pri tome do mikropukotina (22) dok čestice punila ostaju intaktne (56). Osim o vrsti sredstva za izbjeljivanje, promjene u sastavu kompozitnih materijala ovise i o razlikama u sastavu organske matrice, veličine i količine čestica punila (32). TEC i BULK posjeduju iste smole u svom sastavu (BisGMA, Bis-EMA, UDMA) no razlika u punilima kod TECBF 81/61 (wt%/vol%) u odnosu na 76/55 (wt%/vol%) kod TEC može utjecati na povećanu apsorpciju vode što potencijalno dovodi do pucanja veze punila i smole (66) te dovodi do potencijalnog smanjenja mikrotvrdoće. Osim na površinu kompozitnih materijala, primjena sredstava za izbjeljivanje na površinu staklenoionomernih cemenata također može dovesti do promjena u njihovim mehaničkim i estetskim svojstvima. Baroudi i sur. kao i Li i sur. su dokazali da konvencionalni, smolom modificirani staklenoionomerni cementi podliježu degradaciji i otapanju nakon primjene visokih, ali i nižih koncentracija vodikovog (38%) i karbamid peroksida (15% i 35%) i da je ta promjena vremenski ovisna (67, 68). Slično je dokazano u studiji Cehereli i sur. iz koje je vidljivo da i niže koncentracije sredstava za izbjeljivanje utječu na povećanje površinske hrapavosti staklenoionomernih cemenata (69). Mair i Joiner

primjetili su da nakon primjene sredstava za izbjeljivanje ne dolazi do promjena u materijalu zbog pucanja primarnih veza ili su te promjene reverzibilne zbog omekšanja površine jer se unutar staklenoionomernih cemenata nalaze čestice punila koje su okružene hidrogelnim matriksom. Čestice se otapaju u kiselini i na taj način omogućuju stvrdnjavanje. Osim toga, hidrogelni matriks je propustan i omogućava prodor sredstva za izbjeljivanje u dubinu (70). Također, niži pH gela za izbjeljivanje dovodi do pojave erozije na površini staklenoionomernih cemenata (29). Taher i sur. su dokazali da sredstva za izbjeljivanje dovode do omekšanja i smanjenja površinske mikrotvrdoće (33), a slično je dokazano i u našoj studiji gdje je korišten visokoviskozni staklenoionomerni cement, a što može biti rezultat postojanja zračnih mjehurića unutar materijala za vrijeme samog postupka mješanja. Osim smanjenja mikrotvrdoće, zabilježeno je i pojačano otpuštanje fluorida, te degradacija samog staklenoionomernog cementa i kompomera kao i promjena u koeficijentu termalne ekspanzije nakon postupka izbjeljivanja nižim koncentracijama sredstva za izbjeljivanje kroz duže vremena (71). Zaključno, primjena 40 % vodikovog peroksida kroz 45 minuta dovela je do smanjenja površinske mikrotvrdoće nakon izbjeljivanja kod svih testiranih restaurativnih materijala, pri čemu visoke koncentracije vodikovog peroksida oslobađaju više slobodnih radikala koji onda dovode do degradacije restaurativnih materijala (71, 72). Radna hipoteza, da postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena površinske mikrotvrdoće restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja je odbačena. Estetska svojstva restaurativnih materijala omogućuju im da u potpunosti zamjene prirodni zub, što je upravo povezano s bojom i njezinom stabilnosti kroz vrijeme (73). Unatoč svemu, restaurativni materijali izloženi su utjecaju oralne sredine i s vremenom mijenjaju boju (74). Promjena boje kompozitnih materijala rezultat je brojnih intrinzičnih i ekstrinzičnih uzroka. Intrinzični uzroci, kao što je vrsta i svojstva organske matrice (75) i nepotpuna polimerizacija (76) imaju jako veliki učinak na konačnu promjenu boje. Ta promjena povezuje se s degradacijom veze punila i smole, kao i degradacijom i povećanom topljivosti same smole (74). Vanjski ili ekstrinzični faktori kao apsorpcija vanjske boje, također pridonose obojenju materijala (77). Također, apsorpcija vode, kemijska reaktivnost, prehrambene navike i pušenje, kao i loša oralna higijena pridonose promjeni boje ispuna s vremenom (78). U našem istraživanju, prilikom upotrebe TECBF jedino je nakon bojenja čajem kroz 14 dana i to na prethodno izbjeljenim uzorcima rezultiralo statistički značajnom razlikom u promjeni boje (razlika u $\Delta E = 1,9$; $p = 0,008$) tj. uzorci su bili tamniji od početnih mjerenih neposredno prije izbjeljivanja tj. nakon polimerizacije. Kod TEC značajne razlike u promjeni boje također su

zamijećene tek nakon dvotjednih tretmana bojanja čajem. Dvotjedni tretman u čaju u prosjeku je rezultirao značajno većom vrijednošću ΔE od istih vrijednosti nakon 45-minutnog izbjeljivanja ($p = 0,004$), dvotjednog tretmana u čaju nakon prethodnog izbjeljivanja ($p = 0,049$) te dvotjednog tretmana u vodi bez izbjeljivanja ($p = 0,013$). Li i sur. zabilježili su promjenu boje nakon izbjeljivanja 15 % karbamid peroksidom kod nanohibridnih kompozita (79), a slične promjene zabilježene su i kod korištenja 35 % vodikovog peroksida kod mikropunjenih kompozita i te promjene pripisuju se količini smole i veličini čestica punila (37,26). Hashemi u sur. su dokazali da izbjeljivanje 15 % karbamid peroksidom i 40 % vodikovim peroksidom ne dovodi do statistički značajne promjene boje mikrohibridnih i nanohibridnih kompozitnih materijala (55) što je slično i mjerenjima dobivenim u našem istraživanju. Još uvijek nije točno dogovoreno prilikom koje ΔE promjene boje postaju klinički značajne tj. vidljive. Neki istraživači smatraju da je dovoljna promjena od $\Delta E = 2$ (80) dok neki smatraju da te promjene moraju bit veće od 3 (81) ili čak 3.7 (82). Promjena boje nakon izbjeljivanja površine 10 % karbamid peroksidom kod nanopunjenih i mikrohibridnih kompozita bila $\Delta E > 1$, dok je ona kod silorana bila $\Delta E < 1$ (83). Nanopunjeni kompozitni materijali posjeduju veću stabilnost boje zbog veće količine i ukupne površine čestica punila (84). De Andrade i sur. su dokazali da 35 % vodikov peroksid utječe na promjenu boje nanohibridnih kompozita tj. oni su postali svjetliji (64). U našem istraživanju zabilježeno je da kod nanohibridnih kompozitnih materijala TECBF i TEC u pravilu nije došlo do značajne promjene u boji nakon različitih tretmana koja bi bila klinički vidljiva $\Delta E < 2$. Upotreba EQUIA rezultirala je znatno većom varijabilnošću boje nakon različitih tretmana. Nakon bojanja u čaju kroz 7 i 14 dana zabilježene su značajne i klinički vidljive razlike u boji ($\Delta E > 3$). Kod EQUIA najveća razlika u boji zabilježena je nakon sedmodnevnog tretmana u čaju nakon izbjeljivanja u odnosu na sedmodnevni tretman u vodi nakon izbjeljivanja, pri čemu su prilikom tretmana u čaju u prosjeku zabilježene 4,7 puta veće vrijednosti ΔE ($p < 0,001$). Li i sur. zabilježili su promjenu boje konvencionalnih staklenoinomernih cemenata nakon izbjeljivanja 15 % karbamid peroksidom kroz četiri tjedna (36), no nakon dva tjedna od izbjeljivanja, boja se vratila na početnu vrijednost zabilježenu prije izbjeljivanja. Iz ranije navedenih rezultata vidljivo je da postupak izbjeljivanja dovodi do promjena boje restaurativnih materijala no te promjene nisu bile klinički vidljive za razliku od promjene boje nakon naknadnog bojanja u čaju kroz 7 i 14 dana iz čega proizlazi da je radna hipoteza da postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena boje restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja djelomično odbačena. Razlike o učinku sredstva za izbjeljivanje na boju kompozitnih materijala ovise vrsti i količini

smolaste matrice i vrsti punila (19), a osim svojstva materijala, završna obrada površine također doprinosi promjeni boje s vremenom. Povećanje hrapavost površine kao i kemijska degradacija mogu doprinjeti ekstrinzičnom obojenju (85). Apsorpcija vode može dovesti do omekšanja smolaste matrice, njezine degradacije i smanjenja otpornosti na vanjska obojenja kao i do promjena u translucenciji (86). Za ostvarenje kvalitetnog ispuna moramo osigurati dva uvjeta: debeli slojevi moraju biti optimalno polimerizirani dok polimerizacijsko skupljanje mora ostati nisko. Također, jedan od načina poboljšanja dubine polimerizacije je i povećanje translucentnosti materijala. Optička svojstva restorativnih materijala su bitna prilikom fotopolimerizacije, jer mogu utjecati na prolaznost svjetlosti kroz materijal i time potencijalno nedovoljnu konverziju monomera u polimer čime postaju oslabljena mehanička svojstva. Translucencija kompozitnog materijala određuje se temeljem parametra translucencije (TP) ili omjera kontrasta (CR) (87, 88). TP vrijednost raste eksponencijalno sa smanjenjem debljine kompozitnog materijala nezavisno za njegovu boju (89). Tijekom procesa polimerizacije svjetlost koja prolazi kroz materijal dijelom se apsorbira, a dijelom raspršuje što dovodi do atenuacije svjetla i njena učinkovitost se smanjuje kako se debljina materijala povećava. Dubina stvrdnjavanja ovisi o intenzitetu svjetla, vremenu osvjetljenja te nizu drugih faktora kao što je sastav materijala, boja i translucencija. Pokazalo se da je najznačajniji ograničavajući faktor za dubinu stvrdnjavanja stupanj raspršenja svjetla koji je najviši ako su čestice punila veličinom blizu polovice valne duljine polimerizacijskog svjetla. Utvrđeno je da se dubina polimerizacije povećava kako se povećava valna duljina polimerizacijskog svjetla (90). Općenito mehanička svojstva materijala se mogu poboljšati povećavajući količinu i mijenjajući veličinu čestica punila. Polimerizacijsko skupljanje materijala također utječe na transmisiju svjetla što se dokazalo usporedbom materijala sa i bez fotoaktivatora, a objašnjava se volumnim skupljanjem tijekom polimerizacije što skraćuje put svjetla. Manja razina transmisije je posljedično imala i manji stupanj tvrdoće na udaljenijoj površini kompozita (91). Promjene u stupnju loma monomera i čestica punila također utječu na transmisiju tako što je indeks loma svjetlosti između smole i čestica punila sličniji to je stupanj raspršenja svjetlosti manji (92). Kada svjetlost pada na kompozit, raspršuje se od površine čestica punila. Svjetlost tada uranja u kompozit u obliku difuzne transmisije sa širokim raspršenjem i pravocrtne transmisije bez promjene smjera. Dio svjetlosti koja se raspršuje dalje se reflektira od zidova kaviteta pa opet prolazi kroz kompozit. Međutim potvrđeno je da konvencionalni kompoziti polimerizirani tehnikom slojevanja pokazuju smanjenu pravocrtnu transmisiju i povećanu difuznu transmisiju u usporedbi s bulk tehnikom. Nedovoljna količina svjetlosne

energije rezultira nižim stupnjem konverzije, a kao posljedicu ima smanjena mehanička svojstva materijala (93). U našem istraživanju zabilježeno je da uzorci TEC i TECBF mjereni nakon polimerizacije u vidljivom djelu spektra (400-700 nm) pokazuju najmanji koeficijent apsorpcije tj. bolju transmisiju svjetlosti (najviše su propuštali svjetlo). Uzorci koji su izbjeljivani te neizbjeljeni uzorci koji su držani u vodi za vrijeme trajanja izbjeljivanja (kontrola) nisu pokazali veći koeficijent apsorpcije tj. nisu bolje propuštali svjetlost u odnosu na uzorke mjerene nakon polimerizacije tj. prije izbjeljivanja. Najveći koeficijent apsorpcije tj. najmanju transmisiju kroz uzorak debljine 1 mm pokazali su uzorci TEC obojani u čaju kroz 7, a još neznatno veći oni nakon 14 dana bojanja u čaju. Nije zabilježena razlika između koeficijenta apsorpcije kod izbjeljenih i neizbjeljenih uzorka bojanih u čaju. EQUIA uzorci mjereni neposredno nakon završene kemijske reakcije stvrdnjavanja materijala, tj. početni kao i uzorci nakon izbjeljivanja i oni koji su držani u vodi (kontrola) pokazuju najmanji koeficijent apsorpcije, dok izbjeljeni i neizbjeljeni uzorci koji su bojani u čaju kroz 7 i 14 dana imaju najveći koeficijent apsorpcije i najmanje propuštaju svjetlost, a te vrijednosti znatno su veće (razlikuje međusobno i za 50% na određenoj valnoj duljini) u odnosu na uzorke TEC i TECBF iz čega je jasno vidljivo da uzorci staklenoionomernog cementa postaju obojeniji nakon bojanja u čaju i znatno manje propuštaju svjetlo. Ove rezultate nismo bili u mogućnosti komparirati s drugim istraživanjima zbog nedostatka istih. Na temelju rezultata ovoga istraživanja vidljivo je da učinak izbjeljivanja i naknadnog bojanja u čaju pridonosi promjeni transmisije restaurativnog materijala i stoga je radna hipoteza da postupak izbjeljivanja ne dovodi do promjena u prospusnosti svjetlosti (transmisiji) restaurativnih materijala prije i nakon izbjeljivanja kao i nakon naknadnog umjetnog bojanja odbačena. Zaključno, sredstva za izbjeljivanje mogu ujecati na promjenu boje i mikrotvrdoće kompozitnih materijala i staklenoionomernih cemenata. Izbjeljeni restaurativni materijali podložni su jačoj promjeni boje nakon aplikacije sredstva za izbjeljivanje na njihovu površinu u odnosu na neizbjeljene i to kao posljedica omekšanja i povećanja površinske hrapavosti i smanjenju njihove mikrotvrdoće. Kada se odlučimo za postupak izbjeljivanja kod kuće s nižim koncentracijama sredstava za izbjeljivanja ili onome pod kontrolom stomatologa i korištenju visokih koncentracija aktivnih sredstava, potrebno je obavijestiti pacijenta o mogućnosti učinka sredstva za izbjeljivanje na promjenu boje restaurativnih materijala, pojavu pukotine kao i na površinsko omekšanje i povećanje hrapavosti te je takve ispune nakon zahvata ponekad potrebno zamijeniti.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja može se zaključiti sljedeće:

1. Korištenje gela za izbjeljivanje 40% vodikovog peroksida dovodi do smanjenja površinske mikrotvrdoće svih korištenih restaurativnih materijala, a smanjenje mikrotvrdoće zabilježeno je i nakon naknadnog umjetnog bojanja u čaju tijekom 14 dana.
2. Korištenje gela za izbjeljivanje 40% vodikovog peroksida dovodi do promjena boje nanohibridnih kompozitnih materijala (Tetric Evo Ceram i Tetric Evo Ceram Bulk Fill) prije i nakon izbjeljivanja, a naknadno bojanje u čaju tijekom 7 i 14 dana dodatno pridonosi promjeni boje, no te vrijednosti nisu bile klinički vidljive ($\Delta E < 3$). Korištenje gela za izbjeljivanje 40% vodikovog peroksida dovodi do promjena boje viskoviskoznog staklenoionomernog cementa (Equia) prije i nakon izbjeljivanja ($\Delta E < 3$), a naknadno bojanje u čaju tijekom 7 i 14 dana dodatno pridonosi promjeni boje i te vrijednosti bile su klinički vidljive ($\Delta E > 3$).
3. Korištenje gela za izbjeljivanje 40% vodikovog peroksida dovodi do promjena u prospusnosti svjetlosti (transmisiji) nanohibridnih kompozitnih materijala (Tetric Evo Ceram i Tetric Evo Ceram Bulk Fill) i viskoviskoznih staklenoionomernih cemenata (Equia), a najmanju transmisiju kroz uzorak pokazali su uzorci obojani u čaju tijekom 7, a još neznatno veći oni nakon 14 dana bojanja u čaju. Vrijednosti koeficijenta apsorpcije (do 50% na određenoj valnoj duljini) značajno su veće za uzorke staklenoionomernog cementa iz čega je jasno vidljivo da oni postaju obojeniji i više zadržavaju boju nakon bojanja u čaju tj. značajno manje propuštaju svjetlo.

7. LITERATURA

1. Attin T, Paque F, Ajam F, Lennon AM. Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique. *Int Endod J*. 2003;36:313-29.
2. Haywood VB. History, safety, and effectiveness of current bleaching techniques and applications of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int*. 1992;23:471-88.
3. Dadoun MP, Bartlett DW. Safety issues when using carbamide peroxide to bleach vital teeth—a review of the literature. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2003;11:913.
4. Dahl JE, Pallesen U. Tooth bleaching—a critical review of the biological aspects. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2003;14:292-304.
5. Crews KM, Duncan D, Lentz D, Gordy FM, Tolbert B. Effect of bleaching agents on chemical composition of enamel. *Miss Dent Assoc J*. 1997;53:20-1.
6. Perdigao J, Francci C, Swift EJ, Ambrose WW, Lopes M. Ultra-morphological study of the interaction of dental adhesives with carbamide peroxide-bleached enamel. *Am J Dent*. 1998;11:291-301.
7. Potocnik I, Kosec L, Gaspersic D. Effect of 10% carbamide peroxide bleaching gel on enamel microhardness, microstructure, and mineral content. *J Endod*. 2000;26:203-6.
8. McGuckin RS, Babin JF, Meyer BJ. Alterations in human enamel surface morphology following vital bleaching. *J Prosthet Dent*. 1992;68:754-60.
9. McCracken MS, Haywood VB. Demineralization effects of 10 percent carbamide peroxide. *J Dent*. 1996;24:395-8.
10. Burgmaier GM, Schulze IM, Attin T. Fluoride uptake and development of artificial erosions in bleached and fluoridated enamel in vitro. *J Oral Rehabil*. 2002;29:799-804.
11. Attin T, Kielbassa AM, Schwanenberg M, Hellwig E. Effect of fluoride treatment on remineralization of bleached enamel. *J Oral Rehabil*. 1997;24:282-6.
12. Attin T, Muller T, Patyk A, Lennon AM. Influence of different bleaching systems on fracture toughness and hardness of enamel. *Oper Dent*. 2004;29:188-95.

13. Chng HK, Palamara JE, Messer HH. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. *J Endod.* 2002;28:62-7.
14. Attin T, Kocabiyik M, Buchalla W, Hannig C, Becker K. Susceptibility of enamel surfaces to demineralization after application of fluoridated carbamide peroxide gels. *Caries Res.* 2003;37:93-9.
15. Swift Jr EJ, Perdigao J. Effects of bleaching on teeth and restorations. *Compend Contin Educ Dent.* 1998;19:815-20.
16. Yu H, Li Q, Hussain M, Wang Y. Effects of bleaching gels on the surface microhardness of tooth-colored restorative materials in situ. *J Dent.* 2008;36(4):261-7.
17. Polydorou O, Hellwig E, Auschill TM. The effect of at-home bleaching on the microhardness of six esthetic restorative materials. *J Am Dent Assoc.* 2007;138(7):978-84.
18. Swift EJ Jr. Critical appraisal. Effects of bleaching on tooth structure and restorations, part IV: effects on restorative materials. *J Esthet Restor Dent.* 2008;20(3):206-11.
19. El-Murr J, Ruel D, St-Georges AJ. Effects of external bleaching on restorative materials: a review. *J Can Dent Assoc.* 2011;77:b59.
20. Attin T, Hannig C, Wiegand A, Attin R. Effect of bleaching on restorative materials and restorations--a systematic review. *Dent Mater.* 2004;20(9):852-61.
21. Wang L, Francisconi LF, Atta MT, Dos Santos JR, Del Padre NC, Gonini A Júnior, et al. Effect of bleaching gels on surface roughness of nanofilled composite resins. *Eur J Dent.* 2011;5:173-9.
22. Polydorou O, Mönting JS, Hellwig E, Auschill TM. Effect of inoffice tooth bleaching on the microhardness of six dental esthetic restorative materials. *Dent Mater.* 2007;23:153-8.
23. Schemehorn B, Gonzalez-Cabezas C, Joiner A. A SEM evaluation of a 6% hydrogen peroxide tooth whitening gel on dental materials in vitro. *J Dent.* 2004;32(suppl.1):35-9.
24. Polydorou O, Beiter J, König A, Hellwig E, Kümmerer K. Effect of bleaching on the elution of monomers from modern dental composite materials. *Dent Mater.* 2009;25:254-60.

25. Yalcin F, Gurgan S. Bleaching-induced colour change in plastic filling materials. *J Biomater Appl.* 2005;19(3):187-95.
26. Canay S, Cehreli M. The effect of current bleaching agents on the color of light-polymerized composites in vitro. *J Prosth Dent.* 2003;89:474-8.
27. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosth Dent.* 2006;95:137-42.
28. Turker SB, Biskin T. The effect of bleaching agents on the microhardness of dental aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil.* 2002;29:57–61.
29. Turker SB, Biskin, T. Effect of three bleaching agents on the surface properties of three different esthetic restorative materials. *J Prosthet Dent.* 2003;89:466–73.
30. Bailey SJ, Swift JrE. Effects of home bleaching products on composite resins. *Quintessence Int.* 1992;23:489–94.
31. Campos I, Briso AL, Pimenta LA, Ambrosano G. Effects of bleaching with carbamide peroxide gels on microhardness of restoration materials. *J Esthet Restor Dent.* 2003;15:175–82.
32. Hannig C, Duong S, Becker K. Effect of bleaching on subsurface micro-hardness of composite and a polyacid modified composite. *Dent Mater.* 2007;23:198–203.
33. Taher NM. The effect of bleaching agents on the surface hardness of tooth colored restorative materials. *J Contemp Dent Pract.* 2005;6:18–26.
34. Buchalla W. Attin T, Hilgers RD, Hellwig E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent.* 2002;87:264-70.
35. Monaghan P, Lim E, Lautenschlager E. Effects of home bleaching preparations on composite resin color. *J Prosthet Dent.* 1992;68:575–8.
36. Li Q, Yu H, Wang Y, Colour and surface analysis of carbamide peroxide bleaching effects on the dental restorative materials in situ. *J Dent.* 2009;37:348–56.
37. Hubbezoglu I, Akaoglu B, Dogan A. Effect of bleaching on color change and refractive

index of dental composite resins. *Dent Mater J.* 2008;27:105–16.

38. Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent.* 1996;21:73–80.

39. Garcia EJ, Mena-Serrano A, de Andrade AM, Reis A, Grande RH, Loguercio AD. Immediate bonding to bleached enamel treated with 10% sodium ascorbate gel: a case report with one-year follow-up. *Eur J Esthet Dent.* 2012;2:154-62.

40. Gerlach RW. Vital bleaching with whitening strip: Summary of Clinical Research on Effectiveness and Tolerability. *I Contemp Dent Pract.* 2001;3:1-16.

41. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent.* 2004;32:3-12.

42. Bridgeman I. The nature of light and its interaction with matter. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987.

43. McLaren K. Colour space, colour scales and colour difference. *Colour physics for industry.* Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987.

44. Smith T, Guild J. The C.I.E colorimetric standards and their use. *Transactions of the Optical Society.* 1932;33:73-130.

45. Kuehni RG. The early development of the Munsell system. *Color Res Appl.* 2002;27:20-7.

46. Smith T, Guild J. The C.I.E colorimetric standards and their use. *Transactions of the Optical Society.* 1932;33:73-130.

47. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater.* 2008; 24:901-7.

48. Senawongse P, Pongprueksa P. Surface roughness of nanofill and nanohybrid resin composites after polishing and brushing. *J Esthet Restor Dent.* 2007;19:265–73.

49. Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc.* 2003;134:1382–90.

50. Mendes AP, Barceleiro Mde O, dos Reis RS, Bonato LL, Dias KR. Changes in surface roughness and color stability of two composites caused by different bleaching agents. *Braz*

Dent J. 2012;23:659-66.

51. Mohammadi N, Kimyai S, Abed-Kahnamoii M, Ebrahimi-Chaharom ME, Sadr A, Daneshi M. Effect of 15% carbamide peroxide bleaching gel on color stability of giomer and microfilled composite resin: an in vitro comparison. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17:e1082-8.

52. Choi MS, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Changes in surface characteristics of dental resin composites after polishing. *J Mater Sci Mater Med*. 2005;16:347–53.

53. Jung CB, Kim HI, Kim KH, Kwon YH. Influence of 30% hydrogen peroxide bleaching on compomers in their surface modifications and thermal expansion. *Dent Mater J*. 2002;21:396–403.

54. El-Murr J, Ruel D, St-Georges AJ. Effects of external bleaching on restorative materials: a review. *J Can Dent Assoc*. 2011;77:b59.

55. Hashemi K, Kiakojoori K, Mansoore M, Javad M, Fard K. Effects of 15% Carbamide Peroxide and 40% Hydrogen Peroxide on the Microhardness and Color Change of Composite Resins. *J Dent (Tehran)*. 2014;11(2):196–209.

56. Briso AL, Tunas IT, de Almeida LC, Rahal V, Ambrosano GM. Effects of five carbamide peroxide bleaching gels on composite resin microhardness. *Acta Odontol Latinoam*. 2010;23:27–31.

57. Atali PY, Topbaşı FB. The effect of different bleaching methods on the surface roughness and hardness of resin composites. *J Dent Oral Hygi*. 2011;3:10–7.

58. Al-Qahtani M. The Effect of a 10% Carbamide Peroxide Bleaching Agent on the Microhardness of Four Types of Direct Resin-Based Restorative Materials. *Oper Dent*. 2013;38:316–23.

59. Perdigão J, Sezinando A, Monteiro P. Laboratory bonding ability of a multipurpose dentin adhesive. *Am J Dent*. 2012;25:153.

60. Yu H, Pan X, Lin Y, Li Q, Hussain M, Wang Y. Effects of carbamide peroxide on the staining susceptibility of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent*. 2009;34(1):72-82.

61. Soares-Geraldo D1, Scaramucci T, Steagall-Jr W, Braga SR, Sobral MA. Interaction

between staining and degradation of a composite resin in contact with colored foods. *Braz Oral Res.* 2011;25(4):369-75.

62. Okte Z, Villalta P, García-Godoy F, Lu H, Powers JM. Surface hardness of resin composites after staining and bleaching. *Oper Dent.* 2006;31(5):623-8.

63. de Andrade IC, Basting RT, Lima-Arsati YB, do Amaral FL, Rodrigues JA, França FM. Surface roughness evaluation and shade changes of a nanofilled resin composite after bleaching and immersion in staining solutions. *Am J Dent.* 2011 Aug;24(4):245-9.

64. de Andrade IC, Basting RT, Rodrigues JA, do Amaral FL, Turssi CP, França FM. Microhardness and color monitoring of nanofilled resin composite after bleaching and staining. *Eur J Dent.* 2014;8(2):160-5.

65. Malkondu O, Yurdagüven H, Say EC, Kazazoglu E, Soyman M. Effect of bleaching on microhardness of esthetic restorative materials. *Oper Dent.* 2011;36:177–86.

66. da Silva EM, Gonçalves L, Guimaraes JG, Poskus LT, Fellows CE. The diffusion kinetics of a nanofilled and a midifilled resin composite immersed in distilled water, artificial saliva, and lactic acid. *Clin Oral Investig.* 2011;15:393–401.

67. Baroudi K, Mahmoud RS, Tarakji B, Altamimi MA. Effect of vital bleaching on disintegration tendency of glass ionomer restorations. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(2):214-7.

68. Li Q, Yu H, Wang Y. Colour and surface analysis of carbamide peroxide bleaching effects on the dental restorative materials in situ. *J Dent.* 2009;37:438–56.

69. Cehreli ZC, Yazici R, Garcia-Godoy F. Effect of home-use bleaching gels on fluoride releasing restorative materials. *Oper Dent.* 2003;28:605–9.

70. Mair L, Joiner A. The measurement of degradation and wear of three glass ionomers following peroxide bleaching. *J Dent.* 2004;32:41–5.

71. Lee J, Kim H, Kim K, Kwon Y. Effect of bleaching agents on the fluoride release and microhardness of dental materials. *J Biomed Mater Res.* 2002;63(5):535–41.

72. Campos I, Briso AL, Pimenta LA, Ambrosano G. Effects of bleaching with carbamide peroxide gels on microhardness of restoration materials. *J Esthet Restor Dent.* 2003;15:175–82.

73. Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK. Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent.* 1998;79:372–7.
74. Iazzetti G, Burgess JO, Gardiner D, Ripps A. Color stability of fluoridecontaining restorative materials. *Oper Dent.* 2000;25:520–5.
75. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater.* 2004;20:530–4.
76. Janda R, Roulet JF, Kaminsky M, Steffin G, Latta M. Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. *Eur J Oral Sci.* 2004;112:280–5.
77. Patel SB, Gordan VV, Barrett AA, Shen C. The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *J Am Dent Assoc.* 2004;135:587–94.
78. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent.* 2005;33:389–98.
79. Li Q, Yu H, Wang Y. Colour and surface analysis of carbamide peroxide bleaching effects on the dental restorative materials in situ. *J Dent.* 2009;37(5):348-56.
80. Monaghan P, Trowbridge T, Lautenschlager E. Composite resin color change after vital tooth bleaching. *J Prosthet Dent.* 1992;67(6):778-81.
81. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* 1987;3(5):246-55.
82. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989;68(5):819-22.
83. Al-Qahtani M. The Effect of a 10% Carbamide Peroxide Bleaching Agent on the Microhardness of Four Types of Direct Resin-Based Restorative Materials. *Oper Dent.* 2013;38:316–23.
84. Rao YM, Srilakshmi V, Vinayagam KK, Narayanan LL. An evaluation of the color stability of tooth-colored restorative materials after bleaching using CIELAB color technique. *Indian J Dent Res.* 2009;20(1):60-4.

85. Shah MB, Ferracane JL, Kruzic JJ. R-curve behavior and toughening mechanisms of resin- based dental composites: Effects of hydration and post-cure heat treatment. *Dent Mater.* 2009;25:760–70.
86. Fontes ST, Fernández MR, de Moura CM, Meireles SS. Color stability of a nanofill composite: Effect of different immersion media. *J Appl Oral Sci.* 2009;17:388–91.
87. Lee YK, Powers JM. Influence of opalescence and fluorescence properties on the light transmittance of resin composite as a function of wavelength. *Am J Dent.* 2006;19:283–8.
88. Lee YK. Influence of scattering/absorption characteristics on the color of resin composites. *Dent Mater.* 2007;23:124–31.
89. Kim SJ, Son HH, Cho BH, Lee IB, Um CM. Translucency and masking ability of various opaque-shade composite resins. *J Dent.* 2009;37:102–7.
90. dos Santos GB1, Alto RV, Filho HR, da Silva EM, Fellows CE. Light transmission on dental resin composites. *Dent Mater.* 2008;24(5):571-6.
91. Hadis MA1, Shortall AC, Palin WM. Specimen aspect ratio and light transmission in photoactive dental resins. *Dent Mater.* 2012;28(11):1154-61.
92. Howard B, Wilson ND, Newman SM, Pfeifer CS, Stansbury JW. Relationships between conversion, temperature and optical properties during composite photopolymerization. *Acta Biomater.* 2010;6(6):2053-9.
93. Horie K, Nakajima M, Hosaka K, Kainose K, Tanaka A, Foxton RM, Tagami J. Influences of composite-composite join on light transmission characteristics of layered resin composites. *Dent Mater.* 2012;28(2):204-11.

8. ŽIVOTOPIS

Nika Šimenc rođena je 12. svibnja 1992. godine u Zagrebu gdje je 2006. završila osnovnu školu, a 2010. je maturirala u II. Općoj gimnaziji u Zagrebu. Nastavak svog obrazovanja provodi na University of Virginia - smjer pre-med. Tijekom svog školovanja aktivno i profesionalno igra odbojku (član juniorske odbojkaške reprezentacije Hrvatske). Godine 2011. vraća se u Hrvatsku i upisuje Stomatološki fakultet Sveučilista u Zagrebu. Od 2014. demonstrator je na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju. Piše članke za studentski stomatološki časopis Sonda. U slobodno vrijeme asistira u privatnoj stomatološkoj ordinaciji, te prisustvuje brojnim kongresima dentalne medicine. Tijekom studija bila je član Studentske udruge u sklopu projekta Zubić, a trenutno je član Fakultetskog vijeća.